

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra využití strojů

Technická fakulta



Vliv aplikace přípravků pro zlepšení vitálních funkcí půdy na vybrané půdní vlastnosti ve zvoleném zemědělském podniku

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Ondřej Šařec, CSc.

Vypracoval: Bc. Václav Schleiss

PRAHA 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Schleiss

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Vliv aplikace přípravků pro zlepšení vitálních funkcí půdy na vybrané půdní vlastnosti ve zvoleném zemědělském podniku

Název anglicky

Effect of bioactivator application on selected soil characteristics at a chosen agricultural business

Cíle práce

Vyhodnocení vlivu aplikace bioaktivátorů především na fyzikální vlastnosti půdy, např. na tahový odpor nebo na infiltrační schopnost půdy.

Metodika

Při měření tahového odporu, infiltrační schopnosti půdy atd. bude použito metody sběru dat, jejich zpracování a vyhodnocení. Při zpracování dat bude použito vyhodnocení pomocí statistické analýzy a pomocí komparace jednotlivých variant.

Doporučený rozsah práce

cca. 50 stran

Klíčová slova

půdní aktivita, bioaktivátor, pomocné půdní látky, fyzikální vlastnosti půdy, tahový odpor, hnůj

Doporučené zdroje informací

ABBOTT, L. K.. MURPHY, D. V. *Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture*. Springer, 2007. 268 pp. ISBN 978- 1402066184.

Firemní prospekty.

LADYGINA, N.; RINEAU, F. *Biochar and soil biota*. CRC Press, 2013, 270 s. ISBN 978-146-6576-483.

LÁTAL, O. – BÍLOVSKÝ, J. – ŠAŘEC, P. – NOVÁK, P. – FIALA, K. – SEDLÁČKOVÁ, I.: *Využití aktivátorů biologické transformace organické hmoty jako podpůrného nástroje ke zlepšení úrodnostního potenciálu půd*. Rapotín: Výzkumný ústav pro chov skotu, 2017, 37 s. ISBN: 978-80-87592-25-0.

ŠARAPATKA, B. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.

TITI, A E. *Soil tillage in agroecosystems*. Boca Raton: CRC, 2003. ISBN 978-0849312281.

VOLTR, V. *Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí*. Praha: Ústav zemědělské ekonomiky a informací, 2011. ISBN 978-80-86671-86-4.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Ondřej Šařec, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra využití strojů

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2019

doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 10. 04. 2020

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Vliv aplikace přípravků pro zlepšení vitálních funkcí půdy na vybrané půdní vlastnosti ve zvoleném zemědělském podniku“ vypracoval samostatně a použil jen prameny, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Beru dále na vědomí, že moje diplomová práce bude uložena elektronickou formou v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucím práce panu prof. Ing. Ondřejovi Šarči, CSc., za odborné vedení této práce, za cenné rady a připomínky, které mi po dobu zpracovávání této diplomové práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za pomoc a podporu při studiích.

Vliv aplikace přípravků pro zlepšení vitálních funkcí půdy na vybrané půdní vlastnosti ve zvoleném zemědělském podniku

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá změnami vybraných fyzikálních vlastností půdy při aplikování kravského hnoje, minerálního hnojiva NPK a pomocných látek Z'Fix a NeoSol. V úvodu práce je vytyčen cíl a použita metodika popisující postupy získávání hodnot pro praktickou část. Teoretická část práce obsahuje základní informace o půdě jejím vzniku, složení a klasifikaci. Dále jsou rozebrány jednotlivé vlastnosti půdy a její degradace. Následuje přiblížení biouhlu, pomocných půdních látek, organických a průmyslových hnojiv. Blíže popsány jsou ty, které se vyskytují na pokusném poli. V praktické části je stručně charakterizována zemědělská společnost ZEPO Bělohrad, a. s. a půdně-klimatické podmínky zkoumaného pole. Poté je diplomová práce zaměřena na porovnávání naměřených hodnot zkoumaných půdních vlastností, mezi které patří objemová hmotnost, penetrační odpor, vlhkost, infiltrační schopnost a tahový odpor. Poslední část práce se věnuje celkovému shrnutí výsledků a závěru práce.

Klíčová slova: půda, fyzikální vlastnosti půdy, hnojiva, pomocné půdní látky

Effect of bioactivator application on selected soil characteristics at a chosen agricultural business

Abstract

This thesis deals with the changes of the selected physical soil features during the application of cow manure, mineral fertilizer and excipients Z'Fix and NEOSOL. The aim and the used methodology describing the procedures of acquiring values for the practical part are specified in the introduction of the thesis. The basic information about soil and its origin, composition and classification are concerned in the theoretical part of the thesis. The next discussed topics are the individual features of the soil and its degradation, introduction of the bio-coal, the soil excipients and the organic and the industrial fertilizers. Those are described in more detail, which occur in the experimental field. The agricultural company ZEPO Bělohrad, a. s. and the soil-climatic conditions of the examined experimental field are briefly characterised in the practical part. Subsequently, the thesis represents the comparison of the measured values of the soil features, which include bulk density, penetration resistance, humidity, infiltration ability and tensile resistance. The last part of the thesis pursues the overall summary of the results and the conclusion of the thesis.

Key words: soil, physical soil features, fertilizers, soil excipients

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíl práce.....	2
3.	Metodika	2
3.1.	Odběr půdních vzorků.....	2
3.2.	Penetrační odpor.....	4
3.3.	Tahový odpor	6
3.4.	Infiltrační schopnosti půdy.....	7
3.4.1.	Metoda hydraulické vodivosti	7
4.	Půda	8
4.1.	Vznik půdy	9
4.2.	Složení půdy.....	10
4.3.	Klasifikace půdy.....	12
4.4.	Fyzikální vlastnosti půdy	13
4.4.1.	Zrnitost půdy	14
4.4.2.	Měrná a objemová hmotnost	15
4.4.3.	Barva půdy	17
4.4.4.	Půdní pórovitost	17
4.4.5.	Vlhkost půdy	18
4.4.6.	Vzduch v půdě.....	19
4.4.7.	Teplota a tepelná vodivost půdy.....	20
4.5.	Chemické vlastnosti půdy	20
4.5.1.	Chemické složení půdy	21
4.5.2.	Půdní reakce	21
4.5.3.	Pulfrční schopnost půdy	22
4.6.	Biologický vlastnosti půdy.....	22

4.7.	Degradace půdy	22
4.7.1.	Eroze	23
4.7.2.	Utužení půdy	25
4.7.3.	Ztráta půdní organické hmoty	25
4.7.4.	Acidifikace	26
4.7.5.	Zasolení půd	26
4.7.6.	Zastavení půdy	26
4.8.	Biouhel	27
4.8.1.	Výroba	27
4.8.2.	Výhody	27
4.9.	Pomocné půdní látky	28
4.9.1.	Rozdělení pomocných půdních látek	28
4.9.2.	Z'Fix	29
4.9.3.	PRP NeoSol	29
4.10.	Organická hnojiva	30
4.10.1.	Chlévský hnůj	30
4.10.2.	Kejda	31
4.10.3.	Močůvka a hnojůvka	31
4.11.	Průmyslová hnojiva	32
4.11.1.	NPK	32
5.	Praktická část	33
5.1.	Charakteristika zemědělského podniku ZEPO Bělohrad, a. s.	33
5.2.	Charakteristika pokusného pole a klimatických podmínek	33
5.2.1.	Klimatické podmínky	35
5.3.	Sledované fyzikální veličiny a metody jejich měření	36
5.3.1.	Objemová a redukovaná objemová hmotnost	37

5.3.2.	Vlhkost	39
5.3.3.	Infiltrace	40
5.3.4.	Penetrační odpor	41
5.3.5.	Tahový odpor	49
6.	Vyhodnocení	51
6.1.	Objemová a redukovaná objemová hmotnost	51
6.2.	Vlhkost	52
6.3.	Infiltrace	52
6.4.	Penetrační odpor	52
6.5.	Tahový odpor	53
7.	Přehled výnosů a cen vybraných látek	54
8.	Závěr	56
9.	Seznam použité literatury	58
10.	Seznam tabulek	63
11.	Seznam obrázků	63
12.	Seznam grafů	63
13.	Seznam rovnic	64

1. Úvod

Na půdu lze nahlížet jako na jeden z nejdůležitějších přírodních zdrojů, který máme k dispozici. Již od prvopočátku zemědělství byla jeho nedílnou součástí, a to několik tisíciletí. Od té doby docházelo k neustálému zvětšování obdělávané půdy z důvodu nárůstu počtu obyvatelstva. Z toho vznikající potřeba zajistit dostatečné množství potravin. Díky tomu se neustále vyvíjejí technologie a technika pro co nejefektivnější zemědělství.

Největší změny půda zaznamenala v posledním století, zejména po druhé světové válce, kdy docházelo ke kolektivizaci a scelování malých polí do velkých lánů. Znamenalo to výrazný úbytek hranic jednotlivých pozemků jako např. mezí, které zadržovaly vodu. Po pádu komunistického režimu, kdy se z centrálně řízené ekonomiky přešlo k tržní ekonomice, dochází k hospodaření za účelem dosažení co největšího zisku. To má ovšem za následek: malé střídání plodin na poli; snižování nebo úplné vyřazení živočišné produkce, s tím je spojený úbytek organických hnojiv, která jsou nahrazována anorganickými; používání velkých výkonných strojů o velkých hmotnostech, to má za následek větší utužování půdy. Na tento způsob hospodaření má podle mého názoru špatný vliv na systém přerozdělování dotací.

Nejspíš největším problémem všech druhů půd je její pomalá obnovitelnost. Pro vytvoření jednoho centimetru půdy jsou zapotřebí desítky až stovky let v závislosti na podmínkách. Zatímco její poškození nebo eroze může nastat v řádu hodin. Dalším problémem je neustále se měnící klima. To má za následek neustále rostoucí teploty a úbytek srážek, které jsou velmi důležité. Podíl na znehodnocování půdy má také růst populace a s tím i spojená potřeba neustálého rozšiřování osídlených oblastí. V neposlední řadě je problém ten, že výrazně přibývá lidí, kteří ztrácí vztah ke krajině a půdě.

V posledních letech je na problém s degradací úrodnosti půdy stále častěji poukazováno. Opatření k nápravě jsou známá, nicméně do praxe jsou velice pomalu uváděna. Obsahem této práce je zvýšení potenciálu půdy za pomoci podpůrných látek, které by měly zlepšit vitální funkce půdy.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je zhodnocení vlivu organických látek a pomocných půdních látek pro zlepšení fyzikálních vlastností půdy na zkoumaném poli společnosti ZEPO Bělohrad, a. s. Výsledek porovnání jednotlivých variant na zkoumaném poli by měl prokázat, která kombinace použitých látek je nejefektivnější.

3. Metodika

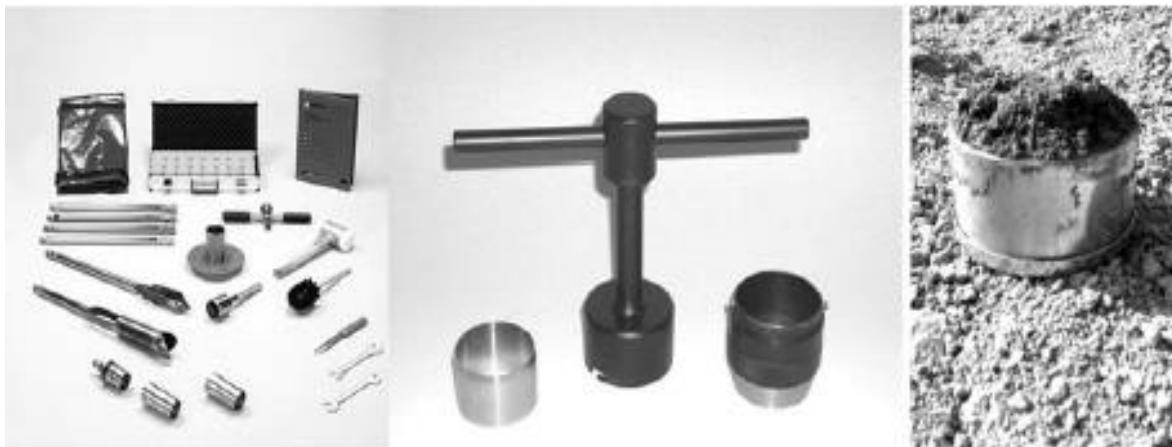
Mezi půdní vlastnosti, které jsou v této diplomové práci zkoumány, patří měrná hmotnost, penetrační odpor, tahový odpor a infiltrační schopnosti půdy.

Před začátkem všech typů měření je dobré se seznámit s vybraným pozemkem, tzn. projít oblast napříč a rovnoměrně si pozemek rozdělit na sektory, aby měření bylo co možná nejrovnoměrnější. Pro získání přesných výsledků je nutné vždy pečlivě dodržovat daný postup měření.

3.1. Odběr půdních vzorků

Půdní vzorky, respektive neporušené vzorky, se odebírají kvůli určení základních fyzikálních vlastností. Pod pojmem neporušené se rozumí, že vzorek je nabrán v přirozeném prostředí. Odebrání se provádí pomocí Kopeckého válečků (viz. Obrázek1). Jedná se o válečky z nerezavějící oceli o objemu 100 cm^3 a maximální výškou 5 cm. Doporučuje se odebrat 3 až 5 vzorků z jednoho odběrového místa. [1] [4]

Před použitím Kopeckého válečků je nutné odstranit pomocí lopatky vrchní část zeminy tak, aby byl povrch rovný. Váleček nasadíme ostrým břitem dolů na násadec, který následně rovnoměrně stlačujeme kolmo dolů, dokud nebude celý váleček zhruba v hloubce 1 cm pod povrchem. Následně váleček opatrně vyjmeme, můžeme si pomoci lopatkou. Dále z násadce vyndáme váleček, na horní stranu nasadíme krytku, abychom tuto část nijak neporušili, a nožem u dolní strany (strana s ostrým břitem) od středu ke krajům oddělujeme zeminu, dokud není zarovnaná se základnami válečku, a nasadíme krytku. Následně víčka stáhneme gumičkou, aby nedošlo k samovolnému otevření. Ve válečku nesmí být žádné nežádoucí předměty, jako kameny atd., a musí být zcela zaplněný. Pokud není nutné odběr opakovat. Na každém válečku je vyražené číslo, které zapisujeme do sešitu spolu s místem odběru. [1] [4]



Obrázek 1 - Sada Kopeckého válečků a příslušenství [10]

Po zakončení odebrání jsou všechny vzorky (Kopeckého válečky) podrobeny rozboru, který je následující:

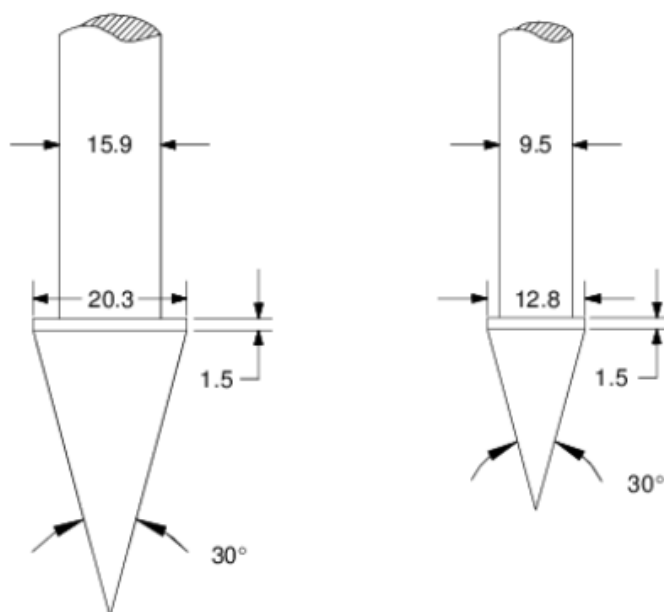
1. Nejdříve se provede určení momentální vlhkost vzorku tak, že váleček se odvíčkuje na dolní straně a uzavře kruhovým filtračním papírem, který je položen na hodinové skle o známé hmotnosti,
2. Poté se do válečku vpraví destilovaná voda pomocí kapilárního vztlínání za použití filtračního papíru. Horní víčko se zamění za hodinové sklo z důvodu zabránění výparu vody. Tento proces trvá zhruba 12 hodin a je ukončen, až je provlhčena horní základna,
3. Následující den, až je váleček zcela nasycen, se sesune z filtračního papíru a nakloní, aby odkapala přebytečná voda. Jakmile voda odkape, váleček se dá na hodinové sklo a zváží se. Díky tomu zjistíme nasákavost,
4. Dále je váleček umístěn na čtyřnásobně složený filtrační papír, rovněž se horní strana zakryje hodinovým sklem. Tím je zahájeno odsávání vody ze vzorku a měří se doba tohoto procesu,
5. První zvážení na hodinovém skle nastává za 30 minut od odsávání. Zjistí se tím třicetiminutová vlhkost,
6. Následně se váleček umístí na suchý čtyřnásobně složený filtrační papír a horní strana se opět zakryje hodinovým sklíčkem. Zvážení nastává po 90 minutách. Tím se určí maximální kapilární kapacita vody,
7. Stejný proces opakujeme po dobu 22 hodin a tím se určí přibližná retenční vodní kapacita,

8. Poté se váleček s kulatým filtračním papírem a hodinovým sklíčkem umístí do pece, kde se suší při 105 °C do té doby, než je hmotnost konstantní. Po vychladnutí se vzorek zváží a tím je určena hmotnost sušiny,
9. Poslední krok je stanovení specifické hmotnosti suché zeminy z válečku v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [1]

3.2. Penetrační odpor

Nejjednodušší způsob, kterým můžeme zjistit, zdali je půda utužená, je prosté pozorování. Nejčastěji se zhutnění půdy projevuje pomalým vsakováním vody do půdy, špatným vzcházením rostlin, a následně žloutnutím jejich listů, vznikáním trhlin, škraloupů atd. [13]

Nejpoužívanější metodou, která se používá, je tzv. penetrometrie. Jde o nepřímou metodu měření, protože půdní odpor je závislý nejen na objemové hmotnosti a pórovitosti, ale i na vlhkosti a zrnitosti půdy. Měření spočívá ve stlačování normovaného kuželového trnu (viz. Obrázek 2) kolmo proti půdě. Síla, kterou je potřeba vynaložit při zatlačování, se zaznamenává a přepočítává na tlak. Především se jedná o MPa, výjimečně o kPa. Metoda je založena na přímé úměrnosti mezi hustotou půdních částic a zhutněním půdy, proto nelze porovnávat výsledky mezi různými typy půd. [13]



Obrázek 2 - Rozměry penetračních kuželů podle ASAE [17]

Pro měření penetrometrie se používá přístroj zvaný penetrometr. Jde o přístroj složený ze sondovací tyče, která je zakončena normovaným kuželovým trnem (ASAE – American society of agricultural engineers). Dále pak ze siloměru, měřidla zahloubení a ze zařízení pro zaznamenávání hodnot a další výbavy, která se liší. [14] [15]

K měření hodnot pro tuto diplomovou práci byl použit penetrometr vyvinutý na Katedře využití strojů ČZU panem Ondřejem Šařcem, Petrem Šařcem a Václavem Proškem. Sondovací tyč tohoto penetrometru může dosáhnout do maximální hloubky 74 cm při doporučeném stlačování do půdy rychlostí 3 cm za vteřinu. Rozsah měření je od 0 do 7 MPa. Naměřená hloubka i tlak se zobrazují na monitoru. Penetrometr je dále vybaven pamětí EEPROM, díky které se naměřené hodnoty dají získat v textovém souboru po připojení s PC. Na Obrázku 3 je velmi podobný penetrometr, jaký byl použit při měření. [16]



Obrázek 3 – Penetrometr [Autor]

3.3. Tahový odpor

Tento půdní parametr má nejzásadnější vliv na energetickou náročnost, respektive náklady na zpracování půdy. Na velikosti tahového odporu se podílí velikost pracovního záběru, počet pracovních těles vnikající do půdy a hloubka zpracování. Pro změření tahového odporu se dnes nejčastěji používají tenzometrická měřidla (siloměry).

Měření probíhá tím způsobem, že se mezi dva traktory umístí tenzometrická tyč (viz. Obrázek 4). První traktor má tyč připojenou do zadního tříbodového závěsu, respektive ramen, protože je nezbytné po celou dobu měření zachovat tyč ve vodorovné poloze, aby na tyč nepůsobily neznámé svislé síly. Druhý traktor, který je pouze tahán, má za sebou připojené nářadí na zpracování půdy např. kypřič. Při jízdě se trasa zaznamenává pomocí GPS přijímače, který je nejčastěji umístěn na taženém traktoru. Po naměření daného úseku se jízda provede v opačném směru z důvodu možné svažitosti pozemku. V poslední řadě se měřený úsek projede ještě jednou s vyhloubeným nářadím. Tak se odečtou potřebné jízdní odpory soupravy. Jiný způsob měření vyžaduje pouze jeden traktor a nářadí, kdy je tenzometrické zařízení umístěno na jiném místě, tedy mezi traktorem a nářadím.[18] [19]



Obrázek 4 - Souprava tahového odporu [Vedoucí práce]

3.4. Infiltrační schopnosti půdy

Pod pojmem infiltrace se dozvídáme o rychlosti vsakování vody do půdy. V terénu je měřena výtopem povrchu, nebo za pomoci dešťového simulátoru. V případě této diplomové práce byla infiltrace měřena na jaře roku 2019 pomocí metody Simplified Falling Head (SFH). [1]

3.4.1. Metoda hydraulické vodivosti

Jak bylo již zmíněno, k měření byla použita metoda SFH. Spočívá v měření rychlosti vsakování vody do půdy a zjištění počáteční a koncové vlhkosti testovaného místa.

Před zahájením samotného měření je nutné očistit a zarovnat povrch půdy. Pokud je na testovaném místě travní porost, je nezbytné nůžkami co nejvíce trávu zkrátit. Dutý nerezový válec o vnitřním průměru 150 mm, výšce 150 mm a tloušťce stěny 2 mm postavíme na připravený povrch. Pokud je potřeba, nožem narušíme povrch půdy po obvodu válce, na válec se přiloží prkno a vtlačíme válec do minimální hloubky 40 mm. Stejným postupem se umístí do půdy další dva válce a za pomoci spektrometru změříme vlhkost půdy. Poté se do každého zvlášť naleje voda a v tom okamžiku se začne měřit čas, dokud se voda úplně nevsákne. Po vsáknutí se znovu změří vlhkost, výsledky se zaznamenají a za pomoci níže uvedeného vzorce provedeme výpočet hydraulické vodivosti [1] [12]

$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{(1-\Delta\theta) \cdot t_{\alpha}} * \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \frac{1}{\alpha^*}}{1-\Delta\theta} * \ln \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta) \cdot D}{\Delta\theta * (D + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right] [m * s^{-1}] \quad (1)$$

$\Delta\theta$ – rozdíl relativní vlhkosti půdy získaných před a po vsáknutí vody do půdy,

t_{α} – čas potřebný ke vsáknutí vody do půdy,

α^* – konstanta (záleží na druhu půdy),

D – podíl plochy válce a objemu vody. [12]

4. Půda

Jak již bylo uvedeno v úvodu, půda je jeden z nejcennějších přírodních zdrojů, který máme k dispozici, a k zemědělství neodmyslitelně patří. Existuje celá řada definic, jak půdu popsat.

Podle Ministerstva životního prostředí lze na půdu pohlížet jako na samostatný přírodní útvar, který vznikl díky povrchovým zvětralinám a organickým zbytkům za pomoci půdotvorných faktorů. Je to základ pro půdní organismy, planě rostoucí vegetaci a pěstované kulturní plodiny. V podstatě se jedná o dynamický živý systém, který se neustále vyvíjí a obnovuje. Lze tedy říci, že všechna suchozemská biologická společenstva jsou na půdě existenčně závislá. [3]

Objektivně lze uvést, že je půda nejsvrchnější částí zemské kůry vznikající vlivem času a vnějších faktorů v procesu pedogeneze. Je produktem přeměn organických a minerálních látek, kterým prostupuje voda, vzduch a organismy. [4]

Půdou, respektive jejím studiem, se zabývá obor zvaný pedologie – lze volně do češtiny přeložit jako půdoznalství. Tento obor se vyvíjí zhruba od poloviny 19. století. Dnešní pedologie se pokouší vysvětlit proces vznikání a vývoje půdy, objasnit její vlastnosti jako jsou např.: [5]

- Filtrace – slučování vody s půdními látkami,
- Retence – zadržování vody v půdě v období bez srážek,
- Transformace – za pomoci chemických a biologických procesů se přeměňují organické a anorganické látky,
- Transportní funkce – pohyb látek v půdě.

Dále se pedologie zabývá charakterizováním veškerých možností hospodářského využití, určováním rozšíření půdních jednotek. Hlavní cíl v posledních letech je zaměřování na predikce změn v půdách. Tyto změny nastávají hlavně díky vlivu lidské činnosti a neustálým změnám klimatických podmínek. [5]

4.1. Vznik půdy

Jedná se o velice pomalý proces, kdy se přeměňují původní látky (převážně kompaktní horniny a jejich sedimenty či zvětraliny). K tomu jsou postupně přidávány i organické látky, které se postupem času stmelují s horninou. Půda se také může vytvořit díky odumřelým rostlinám tzv. rašelinám. K tomu dochází pouze za velké vlhkosti okolního prostředí, tudíž jen zřídka. Rychlost vzniku půdy je velmi pomalá – jeden centimetr půdy až stovky let. Naproti tomu zničení člověkem může nastat i v řádu minut. [6]

Na vznik půdy se podílí 5 hlavních faktorů. Jedná se o: Klima, Čas, Reliéf, Organismy a Matečnou horninu. [4]

Prvním faktorem je klima, které ovlivňuje množství vzniklých půd. Především jde o charakter srážek a teplotu. Čím je klima chladnější, tím se zpomalují chemické i biologické procesy, rovněž se zpomaluje i dekompozice (rozklad mrtvé organické hmoty). Rovněž teplota má vliv na transpiraci (dýchání rostlin) a evaporaci (výpar z půdy). U vlhkého klimatu může nastat problém v podobě přílišného množství vody, která většinou vyplavuje z půdy živiny. [4]

Druhým faktorem je čas. Ovlivňuje množství vzniklé půdy, respektive její stáří. U mladých nevyzrálých půd převyšuje podíl mateční hornina z důvodu častého splavení vodou. Mladé půdy se většinou vyskytují na velkých svazích, v blízkosti velkých řek atd. Naproti tomu staré horniny jsou kvalitnější, protože jsou neustále doplňovány živinami z vegetace, která na ní roste. [4]

Třetím faktorem je Reliéf (neboli topografie) označující typ krajiny, ve které se půda nachází. Tento faktor úzce souvisí s problematikou eroze a všemi problémy, které jsou s ní spojené. Dále s ním souvisí hloubka i tvar podzemních vod. [4]

Čtvrtým faktorem jsou Organismy. Patří mezi ně rostliny, které díky svým kořenům napomáhají se zvětráváním matečné horniny. Dále to jsou mikroorganismy a živočichové, kteří se podílejí na rozkladu mrtvé organické hmoty a následném promícháním s horninou. Jejich aktivita záleží především na klimatu, respektive na teplotě, která by neměla být příliš nízká. [4]

Posledním faktorem je zvětrávající Matečná hornina poskytující hlavní minerální složku půdy. Jde o celou řadu různých hornin (čedič, žula), sedimentární horniny (břidlice, pískovec, vápenec), metamorfované horniny (mramor, rula). Dále se jedná o jednotlivé vrstvy materiálů (substrátů), které jsou vytvořené díky činnosti ledovce, větru nebo vody, může jít o písek, štěrk, vulkanický popel atd. Lze tedy říct, že Matečná hornina reguluje základy chemismů půd. Podle něj se dá zjistit, čeho je v půdě nadbytek nebo nedostatek. [4]

Na vzniku se nepodílejí pouze výše popsané faktory, ale i fyzikální, chemické a biologické procesy.

Mezi fyzikální procesy patří zejména zvětrávání, což je rozrušení matečné horniny za působení změny fyzikálních podmínek. Hornina může být rozrušena kolísající vlhkostí, zejména zmokřením, vysušením. Rovněž teplotní výkyvy – zmrznutí a tání, kdy vzniká tlak a způsobuje trhliny v hornině. Jde tedy o mechanický rozpad horniny. Naproti tomu chemické zvětrávání způsobuje značné změny hornin i minerálů. Učebnicovým důkazem jsou krasové jevy, kdy se rozpouští vápenec kyselinou uhličitou. Biologické procesy, respektive zvětrávání, je založené na vlivu živých organismů působící mechanicky nebo chemicky na horninu i půdotvorný substrát. [4]

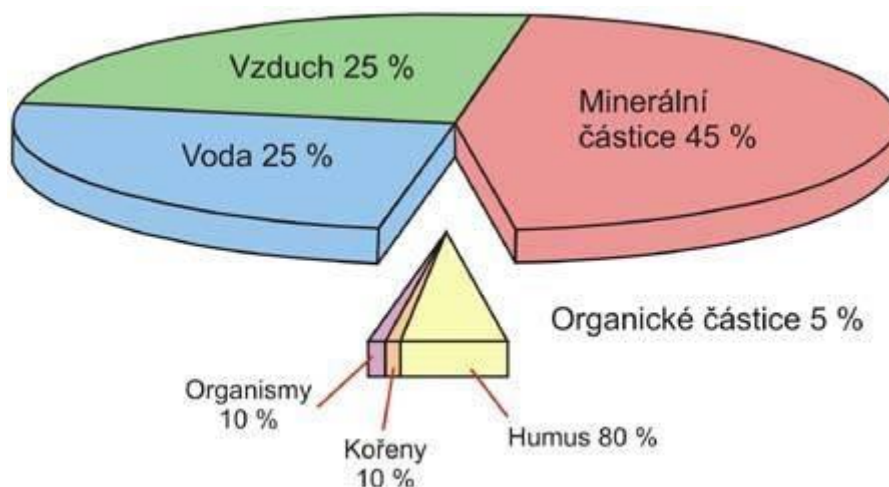
4.2. Složení půdy

Je to faktor, který výrazně ovlivňuje vlastnosti půdy, živný režim i typy hnojiv, které se musí použít. Půda není procentuálně složená jen z pevných struktur, ale i z kapalných a plynných částí (viz Obrázek 5).

Co se týče pevné fáze, tak se v půdě vyskytují dvě složky. První je organická hmota, která je převážně v mrtvém stavu, a tvoří zhruba 2 až 5 % z celkového podílu půdy. Jde o humus, rostlinné zbytky, odpad a odumřelé kořeny. Živá organická hmota představuje kořeny živých rostlin a organismy žijící v půdě tzv. edafon. Anorganická hmota zastupující 95 až 98 % podíl půdy je zastoupena minerálními částicemi různých velikostí jako písek, kameny, jílové částice. Přitom velikost jednotlivých částí určuje zrnitost půdy, respektive její složení. Toto zjištění se provádí v laboratoři, kdy se půda vysuší a rozdělí se za pomoci síť a jednotlivé druhy se zváží. Tím se určí, jestli jde o písčitou, hlinitou nebo jílovitou půdu. [4] [7]

Kapalná fáze je nenahraditelný faktor pro samotnou existenci půdní vegetace a edafonu, protože voda obsahuje nezbytné živiny pro růst plodin. Jde tedy o póry, ve kterých není vzduch ale voda. Ta se do pórů dostane jednak dešťovými srážkami, povrchovými přítoky, ale hlavně díky podpovrchové vodě. Tady nastává ovšem problém s kapilárami, protože voda může za pomoci kapilárních sil stoupat až k povrchu a odpařovat se. Zabránit tomu lze okopáváním nebo jiným narušením povrchu půdy, protože tak se kapiláry přeruší a zabrání se odpařování. [4] [7]

Poslední plynnou fází se rozumí složení půdního vzduchu, který se vyskytuje v pórech. Nejvíce vzduchu obsahují rozvolněné půdy, naopak nejméně jílovité půdy, které jsou charakteristické malými póry. Hlavní dva plyny jsou oxid uhličitý a kyslík, kterého je v půdě podstatně méně než mimo půdu. Je to způsobeno tím, že rostliny v půdě produkují oxid uhličitý, a fotosyntéza se odehrává pouze pod povrchem půdy v minimální hloubce. Poslední odlišností od mimo půdního vzduchu je vlhkost. Pokud je v půdě dostatek vody, udržuje se vlhkost na 100 %. [4] [7]



Obrázek 5 - Složení půdy [36]

4.3. Klasifikace půdy

Genetický půdní typ je základní hledisko, podle kterého se veškeré půdy klasifikují. Hlavním rysem tohoto hlediska je kombinace půdních vrstev. Tyto vrstvy se odlišují barvou a vlastnostmi. Klasifikace půdy ve světě není jednoznačná. Jako parametry se využívaly např. mateční hornina, složení a vlastnosti půdy atd. V České republice se od roku 2001 začal používat Taxonomický klasifikační systém půd, který zahrnuje kromě zemědělské půdy také lesní. Hlavní výhodou je propojení s ostatními klasifikačními systémy ve světě. Druhou používanou metodou je klasifikace půdního druhu dle pana profesora Nováka (viz. Tabulka 1). [5] [32] [33] [35]

Obsah částic <0,01 mm v %	Označení druhu půdy		Klasifikace půdy
0-10	Písčítá	P	Lehká
10-20	Hlinitopísčítá	HP	Lehká
20-30	Písčitohlinitá	PH	Středně těžká
30-45	Hlinitá	H	Středně těžká
45-60	Jílovitohlinitá	JH	Těžká
60-75	Jílovitá	JV	Těžká
Nad 75	Jíl	J	Těžká

Tabulka 1 – Půdní druhy [33]

Podle obtížnosti zpracování zemědělských a lesních půd, které jsou v Tabulce 1 rozepsány pod klasifikací půdy, se dělí na:

- **Lehké půdy** – jsou složené převážně z písčitých zrn, díky tomu se dobře zpracovávají. Vyznačují se malou soudržností a schopností udržet vodu, z toho vyplývá riziko odplavení živin a rovněž vysychání půdy,
- **Střední půdy** – jsou složené převážně z jemných částic a buď jílnatých nebo písčitých částic záleží na druhu půdy. Obecně se vyznačují příznivými fyzikálními vlastnostmi, dobrou vzdušnou a vodní kapacitou,
- **Těžké půdy** – jsou složené převážně z jílnatých částic. Toto složení nepříznivě ovlivňuje fyzikální vlastnosti. Vyznačují se značnou soudržností, malou propustností vody, vzduchu, a tudíž i malou biologickou aktivitou. Jejich zpracování je obtížné. [5] [34]

Pokud vezmeme v úvahu rozdělení půd podle Taxonomického klasifikačního systému tak máme v České republice přibližně 26 druhů půd. Nicméně zde uvedu pouze ty nejrozšířenější. Jde o:

- **Kambizemě** – nejčastější typ půdy v České republice, pěstují se na nich méně náročné plodiny, v nadmořských výškách nad 600 m n. m. se zatravňují,
- **Pseudogleje** – půdy, které jsou pravidelně zamokřené, nejlepší možnost využití je zatravnění, protože nejsou moc úrodné,
- **Černozemě** – nejúrodnější typ půdy, protože obsahuje velký podíl humusu. V České republice je jejich podíl na rozloze přibližně 1/10,
- **Luvizemě** – světlejší typ půdy, jsou náchylné na erozi,
- **Hnědozemě** – další typ půdy, který je úrodný, vyskytují se nejčastěji v nížinných oblastech a může se vyskytnout i na pahorkatinách,
- **Kryptopodzoly** – tyto půdy jsou k vidění v horských a chladných oblastech,
- **Fluvizemě** – vyskytují se zejména v okolí řek, jsou charakteristické různými vlastnostmi a tím je ovlivněná i jejich kvalita,
- **Podzoly** – výskyt je ve výše položených oblastech, v nižších oblastech se vyskytují pouze za přítomnosti minerálně chudých písků,
- **Gleje** – půdy, které se neobhospodařují, jsou neustále podmáčené, ale jejich velká výhoda spočívá v zadržování vody. [5] [35]

4.4. Fyzikální vlastnosti půdy

Na tyto vlastnosti je možno pohlížet jako na soustavu prvků, které se dynamicky vyvíjejí, a kdy změna jednoho činitele okamžitě ovlivní ostatní. Jde tedy o neustále se měnící poměr vzdušného, tepelného, živinného a vodního režimu půdy. [11]

Mezi tyto vlastnosti patří:

- základní fyzikální vlastnosti (měrná a objemová hmotnost, zrnitost půdy a pórovitost)
- hydrofyzikální a aerační vlastnosti (vodní a vzdušná kapacita, vlhkost, vzlínavost, propustnost)
- teplotní vlastnosti (teplota, tepelná a teplotní vodivost)
- Fyzikálně mechanické vlastnosti (hutnost, přilnavost, soudržnost, tření půdy)

- Barva půdy [5]

4.4.1. Zrnitost půdy

Zrnitost půdy, jinak také textura, je minerální část složena z částic různých velikostí jako jsou úlomky mateční horniny nebo primární a sekundární minerály půdotvorného substrátu. Hlavní roli hraje velikost půdních částic. Čím jsou menší, tím se zvětšuje soudržnost (koheze) a přilnavost (adheze). Takto je ovlivňována převážná část půdních vlastností. [5] [32] [33] [34]

Klasifikace zrnitosti jednotlivých frakcí jemnozeme je prováděna pomocí Komplexního průzkumu půd, která vychází ze 4 hlavních skupin (viz. Tabulka 2).

velikost zrn v mm	označení frakcí		
	jednotlivé	skupinové	základní
<0,001	jíl	jílovité částice I.	jemnozeme
0,001 – 0,01	jemný a střední prach		
0,01 – 0,05	hrubý prach	prach II.	
0,05 – 0,25	jemný písek	práškovitý písek III.	
0,25 – 2,00	střední písek	písek IV.	
2,00 – 4,00	hrubý písek		skelet
4,00 – 30,00	štěrk		
>30,00	kámen		

Tabulka 2 - Rozdělení půdních částic [33]

V současné době se u zrnitosti hodnotí pouze 2 kategorie. V České republice se pro stanovení zrnitosti používá trojúhelníkový graf USDA (viz. Obrázek 6) a klasifikace půdních druhů dle pana profesora Nováka (viz. Tabulka 1). Ke správnému určení je potřeba mít rozbor zrn podle velikosti, které jsou vidět na vnějších stranách trojúhelníku. [5] [32] [33] [34]



Obrázek 6 - Zrnitostní trojúhelníkový graf [37]

Pomocí trojúhelníkového grafu jsme schopni rozeznat 12 zrnitostních tříd podle složení.

4.4.2. Měrná a objemová hmotnost

Měrnou hmotností půdy se rozumí hmotnost objemu pevné fáze půdy bez pórů. To znamená, že pevné částice by měly dokonale vyplnit prostor. Její hodnota rovněž závisí na mineralogickém složení a poměru organických látek kvůli rozdílné hmotnosti. Měrnou hmotnost lze také definovat jako poměr mezi vysušenou zeminou při teplotě 105 °C a stejným objemem vody při teplotě 4 °C. Objem se zjišťuje v kalibrované nádobce tzv. pyknometru. Měrná hmotnost se používá k výpočtu pórovitosti. [5] [33]

$$Z = \frac{m_Z}{V_v} = \frac{m_Z}{m_{P_v} + m_Z - m_{P_s}} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (2)$$

Kde:

- m_Z – hmotnost vysušené zeminy [kg],
- m_{P_v} – hmotnost pyknometru s vodou [kg],
- m_{P_s} – hmotnost pyknometru se suspenzí [kg],
- V_v – objem pevné fáze [m³].

Objemová hmotnost půdy se váží v neporušeném stavu. To znamená, že v půdě je původní rozmístění pórů s vodou nebo vzduchem. Z toho vyplývá, že hodnota je závislá jednak na množství pórů v půdě, které jsou ovlivněné zpracováním a utužením půdy a na vlhkostním poměru v půdě. Je rozdíl velký hmotnostní rozdíl mezi suchou a vlhkou půdou. Objemovou hmotnost půdy můžeme určit jako poměr mezi pevnými částicemi půdy a pórovitostí. Postup odběru vzorku pomocí Kopeckého válečku je popsán v metodické části práce (odběr půdních vzorků). Vzorek odebraný ve válečku o objemu 100 cm³ se vysuší při 105 °C a zváží se. Pokud se vzorek nevysuší hovoříme o neredukované hmotnosti, pokud ano, tak je to hmotnost redukováná. [5] [33]

Výpočet neredukované hmotnosti

$$\rho_v = \frac{m_t}{V_t} = \frac{m_s + m_w + m_a}{V_t} \text{ [kg * m}^{-3}\text{]} \quad (3)$$

Výpočet redukováné objemové hmotnosti

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t} \text{ [kg * m}^{-3}\text{]} \quad (4)$$

Kde:

- ρ_v – neredukovaná objemová hmotnost [kg * m⁻³],
- ρ_d – redukováná objemová hmotnost [kg * m⁻³],
- V_t – celkový objem půdy [m³],
- m_t – celková hmotnost půdy [kg],
- m_s – hmotnost pevné fáze půdy [kg],
- m_w – hmotnost vody v pórech [kg],
- m_a – hmotnost vzduchu v pórech [kg].

4.4.3. Barva půdy

Jedná se o nejvýraznější vlastnost, kterou půda má, a lze říct, že právě barva půdy utváří vzhled celé krajiny. Poskytuje celou řadu informací o chemickém a fyzikálním složení, vazbách na substrátu i reliéfu. Její důležitost spočívá především jako pomocný prostředek při hodnocení půdotvorných procesů jako např. akumulování humusu nebo podzolizaci (neúrodnost půdy). Na barvu má vliv přítomnost barevných součástí půdy jako: [35]

- Sloučeniny železa – zbarvují půdu červeně, hnědě nebo žlutě podle toho jaké je v dané lokalitě prostředí.
- Sloučeniny manganu – dodává půdě hnědočervenou až na fialovou barvu
- Uhličitan vápenatý a kaolinit – pokud je těchto prvků v půdě větší množství, tak se zbarvuje do běla, šeda nebo žluta.
- Křemen a jíly – dodávají půdě světlé zbarvení při odstranění nápadných zbarvených součástí
- Humus – tato složka zbarvuje zejména povrch půdy hnědě nebo černě. [33]

Určení barvy je možné dvěma způsoby. Buď je půda pozorována a podle subjektivního názoru pozorovatele se stanoví barva se slovním popisem. Nebo je odebrán vzorek půdy a pomocí barevných standardů Munsellovy barevné tabulky se určí barva. Tato tabulka obsahuje 322 barevných polí a každé pole vyjadřuje zbarvení, tmavost / světlost a sytost. [5] [33]

4.4.4. Půdní pórovitost

V půdě se nachází spousta míst, které nejsou zaplněné pevnou fází. Tato místa se nazývají půdní póry. Většinou mají rozdílný tvar i velikost a jsou navzájem propojeny. Právě díky propojení většiny pórů vnika voda a živiny do půdy, tudíž je to velmi důležitá fyzikální vlastnost. Pórovitost jako taková stanovuje celkový objem pórů, jejich rozmístění, tvar a velikost. V písčitých půdách, kdy jsou půdní částičky blízko u sebe, je pórovitost přirozeně menší, naopak u středních půd, které jsou bohaté na organickou hmotu, je pórovitost nejlepší. Máme dvě hlavní skupiny pórů: [5] [32] [33]

- Kapilární póry – rozměr do 0,2 mm. Není možná výměna vzduchu, vsakování vody, ale vzlínání ano.

- Nekapilární póry – rozměr nad 0,2 mm. Jsou vyplněné vzduchem a zajišťují dobrou propustnost vody. [5] [32] [33]

V zemědělských půdách v závislosti na utužení se celková pórovitost v horních vrstvách pohybuje okolo 40–50 %, avšak nejvhodnější podmínky pro růst rostlin je pórovitost mezi 55–60 %. Samozřejmě záleží na zpracování půdy. Protože se pórovitost přímo změřit nedá, počítá se podle vzorce [5] [32] [33]

$$P = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_z} * 100 \quad (5)$$

Kde:

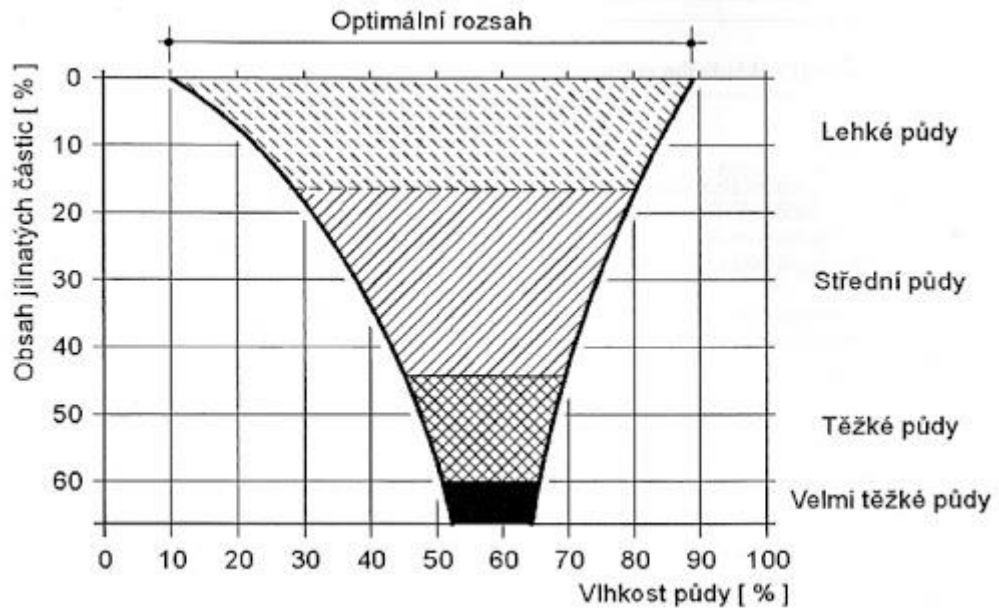
- ρ_d – objemová hmotnost [$\text{kg} * \text{m}^{-3}$],
- ρ_z – měrná hmotnost [$\text{kg} * \text{m}^{-3}$].

4.4.5. Vlhkost půdy

Půda je díky pórovitosti schopna absorbovat velké množství vody a látek v ní rozpuštěných. Lze tedy říct, že poměr obsahu vody v půdě udává vlhkost. Je to nezbytný faktor ovlivňující růst rostlin, respektive veškerý život v půdě. Půdní vlhkost rozlišujeme na:

- Hmotnostní – poměr mezi hmotnostmi vody v půdním vzorku a hmotností pevné fáze půdy,
- Objemovou – poměr mezi objemem vody a objemem neporušeného půdního vzorku,
- Relativní – poměr mezi objemovou vlhkostí a pórovitostí.

Měření vlhkosti se provádí buď pomocí přímé metody, tedy přes půdní vzorky, nebo přes nepřímou metodu, kdy se vlhkost určuje přes veličiny, které jsou na ní závislé. V praxi, tedy u zpracování půdy, má vlhkost velký význam. Hlavně z důvodu rozpadu půdních částic. Každý typ půdy má svoji ideální vlhkost (viz. Obrázek 7). Obecně platí, že u těžších půd je požadován menší interval vlhkosti pro nejideálnější podmínky zpracování. [5] [32] [33]



Obrázek 7 - Optimální vlhkost půdy pro její zpracování [47]

4.4.6. Vzduch v půdě

Stejně jako u vlhkosti půdy tak i provzdušnění závisí na množství pórů v zemi. Zhruba poloviční objem minerální půdy je tvořen póry, které jsou vyplněné vodou nebo vzduchem. Půdní vzduch je v podstatě atmosférický vzduch s vyšším obsahem oxidu uhličitého. Pokud je půda dostatečně provzdušněna, má to pozitivní vliv na mikrobiální rozklad organických zbytků, dále ovlivňuje mnoho půdních vlastností a probíhajících reakcí. Problém s obsahem vzduchu v půdě nastává v situaci, kdy se do půdy dostane velké množství vody a z pórů je vzduch vytlačován ven. Pokud je problém s vysokou vlhkostí půdy trvalý, je nutné provést meliorační opatření. [32] [33]

4.4.7. Teplota a tepelná vodivost půdy

Další z vlastností půd, která ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické procesy v půdě, je velikost teploty závisící na zdroji tepla. To vydává jen sluneční záření a na struktuře povrchu. Tmavší a drsnější půdy absorbují teplo snáze a ve větší míře než světlé půdy, protože u nich je větší pravděpodobnost světelného odrazu od povrchu. Rovněž u svažitéch pozemků je světelná absorpce nižší. Zahřátí povrchu je dále ovlivněno tepelnou kapacitou půdy, ztrátou energie při výparu vody z půdy a přenášením tepelné energie do hlubších vrstev půdy. Teplota se měří teploměry umístěnými v různých hloubkách. Co se týče vlivu vegetace na teplotu půdy, tak má velmi příznivý dopad. Protože přes den, kdy jsou největší teploty, zabraňuje přehřívání půdy a tím jejímu vysušování a v noci zase do jisté míry zabraňuje uvolňování tepla. [32]

Tepelná vodivost v půdě závisí na jejím složení, vlhkosti, textuře půdy, obsahu humusu atd. V případě suchých půd teplo vniká pomalu, protože mají po většinu roku nízkou vlhkost. To je typické pro písčité půdy, které se využívají pro pěstování zeleniny a ranných brambor z důvodu lepšího prohřívání. Naopak těžké půdy, které navíc trpí zamokřením, mají dobře vstřebávají teplo i do hlubších vrstev. [32]

4.5. Chemické vlastnosti půdy

Je to souhrn vlastností, které jsou ovlivněné různými procesy probíhající v půdě, chemickým složením půdy a zásahy člověka. K již zmíněným procesům patří transformace organických a minerálních látek, vsakování a uvolňování vody z půdy, přenos rozpuštěných látek z půdy na kořenový systém rostlin. Člověk do tohoto procesu zasahuje dodáváním minerálních hnojiv do půdy a používáním pesticidů, kterými se ničí plevel, choroby a hmyz. Tyto látky mění chemické složení půdy a při jejich použití může dojít ke kontaminaci povrchových nebo podzemních vod. V dnešní době jsou chemické vlastnosti půdy stále častěji studovány z důvodu šetrnějšího zacházení s půdou a optimální výživy rostlin. [32]
[33]

4.5.1. Chemické složení půdy

Jedná se o nejjednodušší složku z oblasti chemických vlastností půdy. Je tvořena jednotlivými prvky, které mají různé chemické jednoduché i velice složité sloučeniny. Ve srovnání se zemskou půdou se v půdě nejvíce hromadí křemík, a kyslík, dusík a uhlík a v malé míře také síra. Pro růst rostliny je nejvíce důležitý dusík, draslík, fosfor a vápník. Tyto prvky se uvolňují z mateční horniny zvětráváním. Především se ale do půdy doplňují organickými a anorganickými hnojivy. Lze tedy říct, že člověk má velký vliv na přísun látek do půdy. Může jít o žádoucí i nežádoucí látky. [5] [33]

4.5.2. Půdní reakce

Půdní reakce, nebo také kyselost půdy, je velmi důležitá půdní vlastnost, která ovlivňuje půdotvorné procesy, transformaci organické hmoty a růst rostlin. Půdy můžeme z pohledu půdní reakce rozdělit na kyselou, neutrální nebo alkalickou. Na rozdělení má vliv rozpustnost různých sloučenin, síla vazby výměnných iontů, nebo aktivita mikroorganismů. Půdní reakce se určuje buď v jednotkách pH nebo v $\mu\text{mol}(+)/100$ g zeminy. Z jednotek pH není možné stanovit typ reakce. Je k tomu zapotřebí znát sorpční kapacitu, což je schopnost půdy vázat na sebe ionty, nebo celé molekuly různých sloučenin. [1] [32] [33]

V následující tabulce (Tabulka 1) jsou rozděleny hodnoty pH podle aktivní a výměnné reakce. V praxi platí, že rostliny hynou, když je pH nižší než 3 a vyšší než 9. Nejideálnější pro růst rostlin a jejich odběr živin z půdy jsou hodnoty pH v rozmezí mezi 6 až 7. Do této hranice spadají slabě kyselá a neutrální reakce. V České republice se vyskytují nejčastěji půdy s kyselejší reakcí. Na poli se pH dá regulovat vápněním, např. pomocí mletého vápence. [33]

reakce	pH/H₂O	pH/KCl
silně kyselá	< 4,9	< 4,5
kyselá	4,9 – 5,9	4,5 – 5,5
slabě kyselá	5,9 – 6,9	5,5 – 6,5
neutrální	6,9 – 7,2	6,5 – 7,2
slabě alkalická	7,2 – 8,0	–
alkalická	8,0 – 9,4	–
silně alkalická	> 9,4	–

Tabulka 3 - Dělení půd podle reakce [5]

4.5.3. Pulfrační schopnost půdy

Je to schopnost půdy bránit se změnám půdních reakcí udržením víceméně stálé koncentrace vodíkových iontů v půdním roztoku. Této schopnosti se jinak také říká tlumivost. Hodnota Pulfrační schopnosti půdy se určí množstvím kyselin nebo zásad, které změni pH o jednu jednotku. Nejlepší odolnost mají těžké půdy s vysokým obsahem jílu, respektive jílového minerálu, a půdy obsahující huminové kyseliny (organické látky vznikající rozkladem rostlinných zbytků). Nejhorší tlumivost mají lehké písčité nebo hlinitopísčité půdy. Příznivý vliv na pulfrační schopnost půdy má hlavně vápnění a dodávání organické hmoty do půdy. Pokud půda obsahuje alespoň 0,3 % uhličitanu vápenatého a 2 % humusu lze říct, že má dobrou odolnost vůči změnám pH. [5] [9] [33]

4.6. Biologický vlastnosti půdy

Za tyto vlastnosti půdy se dá považovat výskyt a působení veškeré organické složky na půdu. V porovnání s minerálními složkami je podíl organické složky malý, jde přibližně o 5 % z celkového složení půdy. Skládá se z živé složky, což jsou půdní organismy a neživé složky, do které patří organická hmota vzniklá odumřením rostlin a živočichů v půdě. Hmotnost této části se pohybuje okolo 5 tun na 1 ha. půdy. Živé organismy svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi v půdě přispívají během zvětrávacího procesu k rozpadu matečné horniny. Jejich výskyt je nejvíce v hloubce 10–25 cm a od 2 m. Pokud není půda kontaminovaná, organické složky se zde již nevyskytují. [7] [32]

4.7. Degradace půdy

Představuje určité znehodnocení půdy, především jde o porušení některých z funkcí nebo vlastností půdy. Faktorů, které zapříčiňují vznik degradace, je několik. Především jde o lidský faktor, a to prostřednictvím nevhodných technologenních i netechnologenních postupů při obhospodařování půdy. Mezi technologenní ovlivňování lze řadit veškeré operace, které přímo zasahují do půdy. Jde o obdělávání půdy, špatné meliorace, nevhodný výběr pěstovaných plodin atd. Netechnologenní postupy jsou ty, který nemají přímí vliv na půdu, například aplikace chemických látek.

Dalšími faktory jsou ty, které člověk již ovlivnit nemůže. Mezi ně patří jednak přírodní, respektive klimatické podmínky, a také vlastnosti a typy půdy jako takové. Ty mají přímý vliv na odolávání degradačních procesů. Lze tedy říct, že problém je celosvětový. V rámci Evropské unie byly roční škody způsobené degradací vyčísleny na zhruba 38 miliard Euro. [5] [20]

Mezi jednotlivé druhy degradace patří:

- Eroze
- Utužení půdy
- Ztráta půdní organické hmoty
- Acidifikace
- Zasolení půdy
- Zastavení půdy

4.7.1. Eroze

Eroze představuje hlavně mechanické narušování povrchu půdy vodou, větrem a dalšími činiteli (jako sníh, led atd). V praxi jde o odnesení ornice, která představuje nejurodnější část půdy. Tím se zvyšuje šterkovitost, snižuje se obsah živin a humusu, dochází k poškozování plodin atd. Tato degradace probíhá v přírodě i bez jakéhokoliv zásahu člověka, bohužel člověk svým jednáním mnohdy tento proces značně urychluje. V České republice, tedy i v Evropě, se nejčastěji vyskytuje vodní i větrná eroze a jsou považovány za nejznatelnější degradaci půdy. Odhadem se škody pohybují okolo 14 miliard Euro ročně. [20] [21] [22]

4.7.1.1 Vodní eroze

Při této erozi jde o rozrušování povrchu půdy a oddělení drobných půdních částic vodou (nejčastěji dešťovými kapkami). V letním období, kdy je nejčastější výskyt přívalových dešťů a velké množství vody, se najednou nevsákne do půdy a začnou se zplavovat půdní částice. Vodní erozi můžeme rozdělit na plošnou, výmolovou, rýhovou.

Vodní eroze nejčastěji postihuje svažité pozemky, na kterých jsou pole. Největší problém nastává u širokořádkových plodin např. u kukuřice, dále u brambor, nebo u čerstvě zpracované půdy. Pokud eroze nastane, tak v lepším případě se úrodná půda odplaví jen na nižší úsek pole a v horším se odplaví pryč z pozemku. [3] [21]

4.7.1.2 Větrná eroze

Výskyt této eroze v České republice není tak častý. V podstatě jde o to, že vítr odnáší částičky půdy a odnáší je do míst, kde vítr ztratí sílu potřebnou k unášení částic. Ochrana před touto erozí je možná snižováním rychlosti větru. A to větrolamy, mulčováním povrchu půdy, respektive rostlinných zbytků, a tím udržet co nejdéle rostlinný kryt pozemku. [3] [21]

4.7.1.3 Opatření proti erozi

Erozi do jisté míry lze zabránit, pokud se na svažitéch pozemcích nebudou sázet okopaniny. V případě setí širokořádkových plodin se bude sít podsev a pokud to bude možné, zařadit do osevního postupu meziplodiny. Pokud jde o kukuřici, tak dodržovat protierozní pásy ochrannými plodinami (nejčastěji obiloviny), ale nejlépe na svažitéch pozemcích nepěstovat, protože jinak nastává problém (viz. Obrázek 8). Dále je samozřejmě důležitý přísun organické hmoty do půdy (hnůj, sláma, zelené hnojení), výsledkem je tvorba humusu a stabilizace půdní struktury. Proti erozi rovněž pomáhají křovinaté nebo protierozní pásy. [3] [21] [26]

Co se týče zpracování půdy, je vhodná orba po vrstevnici z důvodu, že voda, která by za normálních okolností odtékala, nepřesáhne objemovou kapacitu brázd. Dále je doporučena taková orba, aby se skýva převracela do svahu (zabraňuje to gravitační erozi) Rovněž setí je výhodnější po vrstevnici. [3] [21]



Obrázek 8 - Příklad erozi při pěstování kukuřice [23]

4.7.2. Utužení půdy

Při této degradaci dochází ke změnám fyzikálních vlastností půd. Vlivem stlačení půdy zemědělskými stroji se zvyšuje objemová hmotnost, snižuje se pórovitost a infiltrační schopnost. Odhaduje se, že v České republice je utužena zhruba polovina hektarů. Utužení půdy se dělí na přirozenou (tvořená půdotvornými procesy) a antropogenně (vlivem působení člověka) způsobenou. Je prokázáno, že tlak přesahující 80 kPa škodí půdě a tlak nad 150 kPa ovlivňuje jak podorničí, tak orniční vrstvu. [5] [25] [28]

Nejvíce se na utužení půdy podílí vliv člověka, a to vlivem používání těžké zemědělské techniky, opakovaných přejezdů po pozemku, špatného osevního postupu a nedostatečným zpracováním půdy. Mezi přirozené faktory, které mají také vliv na utužení, se řadí zrnitost půdy. Nejmenší odolnost mají těžké jílovité půdy, naopak nejlépe jsou na tom písčité, kamenité a šterkovité typy půd. Dále jde o půdní strukturu a obsahu uhličitánů, protože kyselejší půdy mají nepříznivou strukturu a tím menší odolnost vůči utužení. [5] [13] [28]

Utužení půdy neboli pedokompakce má zásadní vliv na výnos z pěstovaných plodin, život v půdě, obsah vody, a hlavně velké náklady na obdělávání půd. Aby bylo utužení co nejmenší, měl by se dodržovat správný osevní postup, hnojit organickými hnojivy a vápnit pole. Asi nejzásadnějším problémem je používání těžké techniky a neustálé přejezdy po poli, které jsou zbytečné. Co se týče těžké techniky, tak by se měly co nejvíce využívat pásové podvozky nebo flotační pneumatiky. Pokud je utužení půdy tak velké, že se do půdy nevsakuje voda, nevzchází výsev atd, je možné uplatnit speciální meliorační opatření, hlubokou orbu, podrývání atd. [5] [13] [27]

4.7.3. Ztráta půdní organické hmoty

Organická hmota v půdě má zásadní vliv na udržení stabilní půdní struktury, zadržování vody, ale především představuje zásobárnu energie a zdroj živin. Díky intenzivnímu zemědělství se podíl živin v půdě znatelně snížil. Obhospodařovaná půda má samozřejmě menší podíl živin než půda s přirozenou vegetací, ale měly by se živiny do půdy neustále dodávat, což se bohužel mnohdy neděje. Mezi nejideálnější hnojiva, která můžeme do půdy dát, jsou organická, dále posklizňové zbytky atd. Bohužel ty v posledních letech ubývají a jsou nahrazována ve stále větší míře anorganickými hnojivy, které sice dodají do půdy stejný poměr minerálů, ale nevytvoří v půdě humus. [5] [20]

Pokud nastane výrazný úbytek organické hmoty, pravděpodobně se zvýší náchylnost vůči erozi. Sníží se retenční schopnost a poklesne pulfrací schopnost půdy související s odolností vůči acidifikaci a alkalizaci atd. [5] [20]

4.7.4. Acidifikace

Je to proces, při kterém klesá obsah uhličitánů v půdě. K této degradaci dochází působením přírodních procesů, zejména ve vlhčích prostředích, ale největší problémy vycházejí z lidské činnosti. Jde například o kyselé deště, pěstování jednoletých plodin, působení imisí a používání průmyslových hnojiv, které působí kyselé na půdu. Rostliny způsobují acidifikaci tím, že odebírají bazické prvky, zejména vápník a hořčík. Dopad acidifikace je především ve zhoršení kvality humusu, snížení odolnosti vůči zhutnění a v rychlejším uvolňování draslíku vyplavováním. V důsledku toho se snižují výnosy. [29]

4.7.5. Zasolení půd

Tento problém vzniká v důsledku vysoké koncentraci soli, která se vyskytuje v podzemních vodách, následně vzlíná k povrchu, kde se odpaří, a soli zůstanou v půdě. Zasolování může rovněž způsobit člověk při závlahách, solení komunikací nebo nadměrným hnojením minerálními hnojivy. Pak o tomto problému hovoříme jako o sekundárním zasolování. Zbavení se soli lze provést vyplavováním vody s minimální koncentrací soli a je k tomu nutná přirozená nebo umělá drenáž v půdě. Další způsob je časté zaorávání vojtěšky.

V České republice není zasolení půd nikterak závažné, ale z celosvětového pohledu je tento problém závažný. [29]

4.7.6. Zastavení půdy

Tento problém se sice nevztahuje do degradace půdy, ale je natolik závažný, že předčí všechny ostatní degradační problémy. V dnešní době se stále častěji staví nové objekty na tzv. zelené louce, ať se jedná o dopravní či inženýrskou infrastrukturu nebo obytné zóny, což znamená trvalou ztrátu zemědělské půdy. Přitom by se podle mého názoru dalo do jisté míry předejít využíváním již zastavěné plochy, na které jsou staré objekty vhodné k demolici. Tiskové zprávy Ministerstva životního prostředí z roku 2009 byly v České republice za poslední rok úbytek zhruba 19 hektarů zemědělské půdy denně, přičemž úbytek mezi lety 1966 až 2007 činil 235 tisíc hektarů. Pokud bude úbytek půdy pokračovat i nadále v takové míře, tak to představuje závažný problém pro budoucí generace. [30] [31]

4.8. Biouhel

Jedná se o součást půdní struktury, která je dobře známá. Biouhel v půdě začal vznikat před tisíci lety díky rozsáhlým požárům. Jde o jemnozrnný materiál podobný dřevěnému uhlí. Lze říct, že jde o ekonomicky přínosný prvek, protože jednak napomáhá ke zmírňování změn klimatu a má dobrý vliv na zvyšování produktivity půdy atd. [38] [39]

4.8.1. Výroba

Biouhel se vytváří pyrolýzou, což je ohřev biomasy na teplotu v rozmezí 300–600 °C při nedostatku kyslíku. Materiál při ohřevu změní své chemické vlastnosti a je tak mnohem odolnější vůči mikrobiálnímu rozkladu. Výchozím materiálem pro proces pyrolýzy může být prakticky jakákoliv organická hmota jako např. (zbytky z půdního i lesního hospodářství, chovu zvířat atd.). Biouhel vzniká i v přírodě při lesních požárech. [38] [39]

4.8.2. Výhody

Jedná se o velmi stabilní formu uhlíku, tudíž se může používat pro ubírání CO₂ ze vzduchu. Výhodou je, že vyroben může být prakticky z jakýchkoliv organických zbytků a při jeho výrobě se uvolňují látky, které vážou teplo a mohou tudíž vytápět např. budovy. Z agronomického pohledu je biouhel také velice zajímavý, protože je schopen vstřebávat agrochemikálie a zvyšovat úrodnost půdy. Další výhody jsou vidět na obrázku 9. [38] [39]



Obrázek 9 - Výhody biouhelu [40]

Biouhel se může stejně jako do půdy přidávat do hnoje či steliva, což má pozitivní vliv díky snižování zápachu. Dále může sloužit jako příměs do krmiva a tím dochází ke snížení alergií a zlepšení příjmu potravy u hospodářských zvířat. Za další výhodu lze určitě považovat absorpce vody (až 6násobek váhy samotného biouhlu). Tato výhoda je uplatňována při izolaci budov a snižování vlhkosti vzduchu. [38] [39]

4.9. Pomocné půdní látky

Jsou to látky, o kterých pojednává zákon č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd. Pod pojmem pomocné půdní látky (zkráceně PPL) se rozumí: „látko bez účinného množství živin, která půdu biologicky, chemicky nebo fyzikálně ovlivňuje, zlepšuje její stav nebo zvyšuje účinnost hnojiv, s výjimkou přípravků na ochranu rostlin.“ V České republice se smí používat pouze registrované PPL a pouze v případě, pokud nepředstavují riziko pro úrodnost půdy, zdraví lidí nebo zvířat a životní prostředí. [43] [26]

4.9.1. Rozdělení pomocných půdních látek

PPL můžeme rozdělit podle několika hledisek. Hlavní dělení je dle mého názoru podle skupenství. Podle toho se odvíjí způsob aplikace.

Dělení podle skupenství:

- Přírodní – bez jakéhokoliv zásahu člověka,
- Syntetické – vyráběné ze syntetických materiálů s možným příměsí přírodních látek,
- Pevné – mohou se zapravovat do půdy nebo přidávat jako příměs do statkových hnojiv,
- Kapalně – nejvíce způsobů aplikace, buďto jako postřik, závlahový systém nebo je možné použít jako mořidlo na osiva. [26]

Konkrétních příkladů pomocných půdních látek je celá řada. Zde je však nutné uvést právě ty, které se nacházejí na zkoumaném poli. [26]

4.9.2. Z'Fix

Jde o přípravek ve formě granulí, který pozitivně ovlivňuje organická hnojiva. Výrobce je francouzská firma PRP Technologies. Z'Fix je složen z hořečnatých a vápenatých prvků draslíku, manganu, sodíku, síry a železa. Tato PPL se používá jako aktivátor biologických transformací ve statkovém hnoji. Výrobce uvádí, že po použití přípravku se zlepší vlastnosti podestýlky. V praxi to znamená, že má podestýlka větší jímavost, snižují se emise amoniaku a ostatních zápachů. Další výhodou je šetření slámy a delší ponechání podestýlky (zhruba 60 až 120 dní). Dále se může přípravek použít při ustájení na rostech. Konkrétně jako příměs do kejdy kvůli zlepšení fermentace a snížení zápachu kejdy, samozřejmě za přítomnosti zvířat. Z'Fix je možné využívat i v ekologickém zemědělství. [44]

4.9.3. PRP NeoSol

Další pomocná půdní látka od firmy PRP Technologies. Je složena z dolomitického vápence, vápencových granulátů a vápence. Granule mají hnědou barvu složenou z již zmíněných prvků a s malou příměsí hořčíku. Podle výrobce je možnost použít tento přípravek na všechny typy zemědělských půd a trvalých travních porostů. Jeho výhoda spočívá ve schopnosti zlepšovat půdní struktury, zvyšování infiltrace a retence vody v půdě. Celkově lze říct, že usnadňuje zpracování a zlepšuje úrodnost půdy. [44]

Aplikace se zabezpečuje pomocí rozmetadel minerálních hnojiv. PRP NeoSol nelze rozpouštět ve vodě, tudíž aplikace postřikovačem je vyloučená. Přesná doba aplikace není stanovena, respektive aplikujeme dle potřeby nebo před setím. Podle výrobce je nejlepší účinek látky při aplikaci těsně po sklizni na strniště nebo po sklizni okopanin atd. Při dávce nad 300 kg*ha⁻¹ je vhodné 10 až 20 cm zapravení do půdy. [44]

4.10. Organická hnojiva

Obsah organických látek v pevném složení půdy je zhruba 5 % z celkové hodnoty pevné fáze. Vlivem pěstování rostlin a degradací půdy podíl organické hmoty klesá a je nezbytné jej neustále doplňovat, protože v opačném případě může dojít ke zhoršení fyzikálních a chemických vlastností půdy. Bohužel v dnešní době stále více ubývá živočišné výroby a tím i aplikaci organických hnojiv, která jsou v půdě nenahraditelná. Problémem organických hnojiv je v jejich skladování. Při uložení ať už v jímce nebo na hnojišti je hnojivo zatíženo ztrátami (fermentací). To znamená, že se do půdy dostane méně uhlíkatých látek a živin, než je z půdy vlivem pěstování odčerpáno. Nevyrovnání tohoto rozdílu by mělo za následek pokles půdní úrodnosti. V půdních podmínkách České republiky se ročně rozloží 4,0 – 4,5 tun organických látek na 1 hektar. Zhruba polovinu vrátí nazpět rostlinné zbytky a druhou polovinu je nutné dodat. [41]

Mezi organická (statková) hnojiva patří chlévský hnůj, hnojůvka, kejda, močůvka, silážní šťávy, sláma, zelené hnojení, komposty.

4.10.1. Chlévský hnůj

Je to směs steliva, tuhých a tekutých výkalů, zbytků nestráveného krmiva hospodářských zvířat. Směsí těchto látek vzniká chlévská mrva a po zfermentování (uskladnění) se přemění v chlévský hnůj. Pro lepší manipulaci s hnojem je dobré použít slámu o délce 15–20 cm, tedy nařezanou, protože v tomto stavu má lepší jímavost moči a snižuje potřebu slámy. Co se týče kvality hnoje, tak nejlepší je koňský hnůj, protože obsahuje nejméně vody a disponuje vysokou záhřevností. Ideální délka uložení hnoje je 6 měsíců. [41]

Skladování chlévského hnoje je nejideálnější na stálém hnojišti se zpevněnou plochou např. betonovou a jímkou na hnojůvku a močůvku. Ložná plocha by měla vycházet z počtu dobytčích jednotek (na 1 dobytčí jednotku tzn. 500 kg živé váhy by mě být 2,5 až 3 m³ plochy při vyvážení 2x za rok). Další způsoby skladování hnoje jsou buď na polním hnojišti (nejhorší způsob, protože je denní manipulace s hnojem a tím je způsobena ztráta živin) a ve stáji při hluboké podestýlce (nejmenší ztráty organických látek a živin). [41]

Hnojení by se mělo provádět nejdéle jednou za 3 roky, přičemž optimální dávka hnoje je 9 tun na hektar za rok. Dávka hnoje se liší podle druhu plodiny, jakou pěstujeme např. brambory potřebují 30–40 t*ha⁻¹, obiloviny okolo 20 t*ha⁻¹. Při aplikaci by se měl hnůj ihned po rovnoměrném rozmetání zapravit do půdy, jinak nastává značný ubytek dusíku vyprchávací ve formě čpavku. [41]

Na pokusném poli byl použit kravský hnůj.

4.10.2. Kejda

Jde o částečně zkvašenou směs tuhých i tekutých výkalů, zbytků krmiv a technologické vody. Vzniká ve stájích, kde je ustájení na roštích tzn. bez použití steliv. Tento způsob ustájení je považován za ekonomičtější a hygieničtější. Kvalita kejdy závisí především na obsahu vody, druhu hospodářských zvířat a krmení. Kvalitní kejda závisí stejně jako hnůj na dobrém skladování po dobu 6 měsíců. Za tento čas kejda přestává být pro rostliny infekční, protože se rozloží dusíkaté organické kyseliny, jiné látky a mikroorganismů včetně cizopasníků. Během uskladňování je nutné kejdu promíchávat, protože se odděluje tuhá a kapalná složka. Pokud by se kejda nepromíchala, nastává při aplikaci nerovnoměrné hnojení, protože podíl sušiny a živin by nebyl rovnoměrný. Při samotné aplikaci na pole je nejvhodnější okamžité zapravování do půdy hadicovým systémem a připojení talířového nebo radličkového podmítačem na fekální vůz. [41]

4.10.3. Močůvka a hnojůvka

Rozdíl mezi močůvkou a hnojůvkou je v jejich složení. Močůvka je složena ze zkvašené moči ustájených hospodářských zvířat a vody. Ze stáje vytéká močůvka. Vytéká do jímky odkud je následně vysávaná a aplikovaná. Její skladování před aplikací je ideální po dobu 6 měsíců z důvodu agresivity moči (dusíkaté kyseliny) stejně jako u kejdy. Močůvka se používá ke hnojení krmných plodin, okopanin a trvalých travních porostů z důvodu vysokého obsahu dusíku. U trvalých travních porostů je nutné hnojit na jaře a za chladnějšího počasí, protože hrozí únik dusíku. [41]

Hnojůvka na rozdíl od močůvky vytéká z hnojiště v průběhu zrání chlévské mrvy. Její složení se také liší a je ovlivněné hlavně kvalitou, uskladněním, ošetřením mrvy a množstvím vody, které se dostane do mrvy vlivem srážek. Celkový objem hnojůvky může dosahovat od 2 do 20 % z celkového objemu mrvy. Hnojí se s ní stejné plodiny jako s močůvkou. [41]

4.11. Průmyslová hnojiva

Při intenzivním pěstování zemědělských plodin jsou průmyslová hnojiva nezbytnou součástí pro udržení úrodnosti půdy. Základními hnojivy jsou samozřejmě hnojiva organická. Je ale dokázáno, že hnojení pouze organickými hnojivy nestačí, protože úbytek živin je daleko větší, než jsou tyto hnojiva do půdy dodávána. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, je těchto hnojiv značný nedostatek. Průmyslová hnojiva tedy nedoplňují ty organická, ale zcela je nahrazují, což je nezbytný krok, pokud nechceme snižovat úrodnost půdy. Mohou být v pevné nebo kapalné formě. Při aplikaci je nutné co nejpřesnější dávkování, protože přebytek i nedostatek vede ke špatnému růstu. [42]

Tato hnojiva rozdělujeme na dusíkatá, draselná, fosforečná, vápenatá, hořečnatá, vícesložková, speciální. Konkrétních průmyslových hnojiv je celá řada. Za zmínku stojí vícesložkové hnojivo NPK, protože je použito na zkoumaném poli. [42]

4.11.1. NPK

Jde o pevné vícesložkové průmyslové hnojivo, které je ve formě malých granulí. Hnojivo obsahuje základní živiny jako je dusík (zlepšuje růst), fosfor (přispívá rozvoji a růstu kořenového systému a květů) a draslík (zvyšuje celkové zdravý rostlin). Používají se různé poměry hlavních prvků. U tohoto hnojiva je nezbytné přesné dávkování, protože přehnojení může vést ke zvýšenému růstu, a to má za následek polehání porostu. [42]

5. Praktická část

Tato část práce je zaměřena na porovnávání fyzikálních vlastností půdy naměřených na pokusném poli patřící zemědělskému podniku ZEPO Bělohrad, a. s.

5.1. Charakteristika zemědělského podniku ZEPO Bělohrad, a. s.

Zemědělská společnost ZEPO Bělohrad, a. s. byla založena v roce 1996. Sídli v Dolní Nové Vsi, což je část města Lázně Bělohrad ležící v jičínském okrese. Společnost je zaměřena na klasickou zemědělskou výrobu, které dominuje chov skotu o 435 kusech dojných krav s uzavřeným obratem stáda. Dále chová mladá zvířata s tím, že býčci jsou prodávány ve stáří 3 týdnů. Do roku 2010 dominovalo české strakaté plemeno, poté byla provedena výměna ze zhruba 85 % na holštýnské plemeno včetně mladých zvířat.

Obhospodařovaná výměra společnosti je 1300 ha zemědělské půdy. Na orných pozemcích se vyskytují těžké až velmi těžké kamenité půdy o výměře 1025 ha. Jsou tam především pěstovány obiloviny, ozimá řepka a cukrovka. Dalších 350 ha je určeno na pěstování pícnin pro živočišnou výrobu jako je kukuřice, vojtěška nebo jetel. Skot je rovněž vykrmován pící z 273 ha trvalých travních porostů. [45]

5.2. Charakteristika pokusného pole a klimatických podmínek

V této kapitole je popsáno pokusné pole, jeho poloha, sklonitost atd. Dále jsou zde uvedeny klimatické podmínky za roky 2018 a 2019.

Pokusné pole nesoucí název: „Ke Skalám“ spadá do katastrálního území Horní Nová Ves pod pozemkovým číslem 763/40. Průměrná nadmořská výška pozemku je 368 m n. m. a sklonitost se pohybuje okolo 7°. Celková výměra části, kde jsou prováděni měření, činí 6,2 ha. Celý pozemek spadá podle BJEP (bonitová půdně ekologická jednotka) pod číselný kód 5.15.12. To znamená, že pole spadá do 5. klimatického regionu, kde se nachází převážně luvizemě. Tento region je mírně teplý a vlhký. Půdy zde obsahují skelet 10–25 %. Jsou charakteristické tím, že mají střední rychlost infiltrace v rozmezí 0,10–0,15 mm.mm⁻¹ a vysokou retenční vodní kapacitu. [46]



Obrázek 10 - Pokusné pole [Autor]

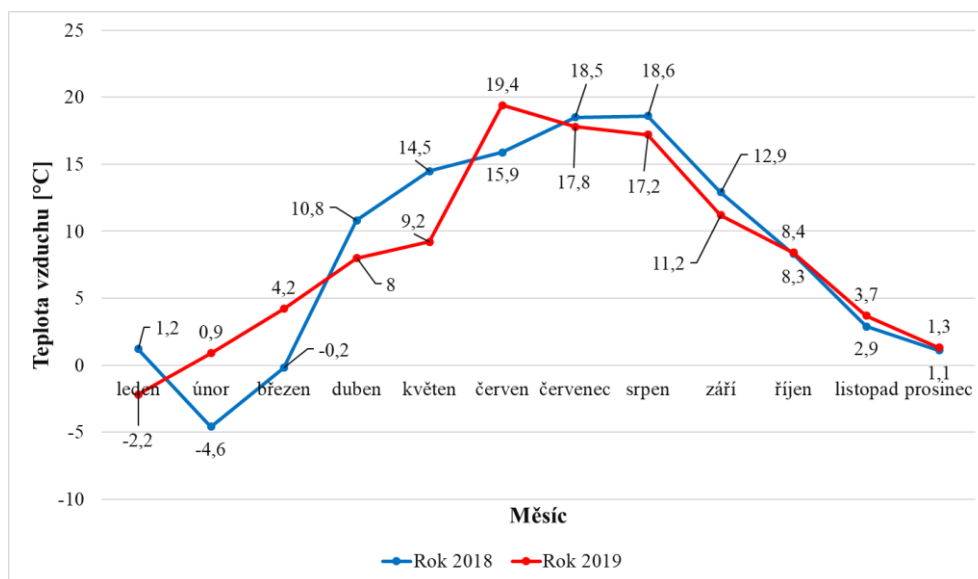
Na obrázku 10 je vidět rozložení jednotlivých variant na pokusném poli. Jak již bylo zmíněno, pozemek se nachází na svahu, kdy nárůst nadmořské výšky jde od 1 až po 6 variantu. Všechny varianty mají podobnou výměru okolo 1 ha a je na nich uplatňován stejný osevní postup. V roce 2018 byla pěstována řepka olejka (odrůda INSPIRATION) a v roce 2019 ozimá pšenice (odrůda REFORM). Na každé variantě byla použita jiná hnojiva a pomocné pudní látky při dávce 30 t/ha kravského hnoje (v 1. a 2. variantě ošetřeno 505 kg Z'Fixu), 150 kg NeoSolu. Jejich přehled je zobrazen v následující Tabulce 4.

Číslo varianty	Hnojivo
1	Kravský hnůj + Z'Fix + NeoSol + NPK
2	Kravský hnůj + Z'Fix + NPK
3	Kravský hnůj + NeoSol + NPK
4	Kravský hnůj + NPK
5	NeoSol + NPK
6	NPK (kontrola)

Tabulka 4 - Přehled variant [Autor]

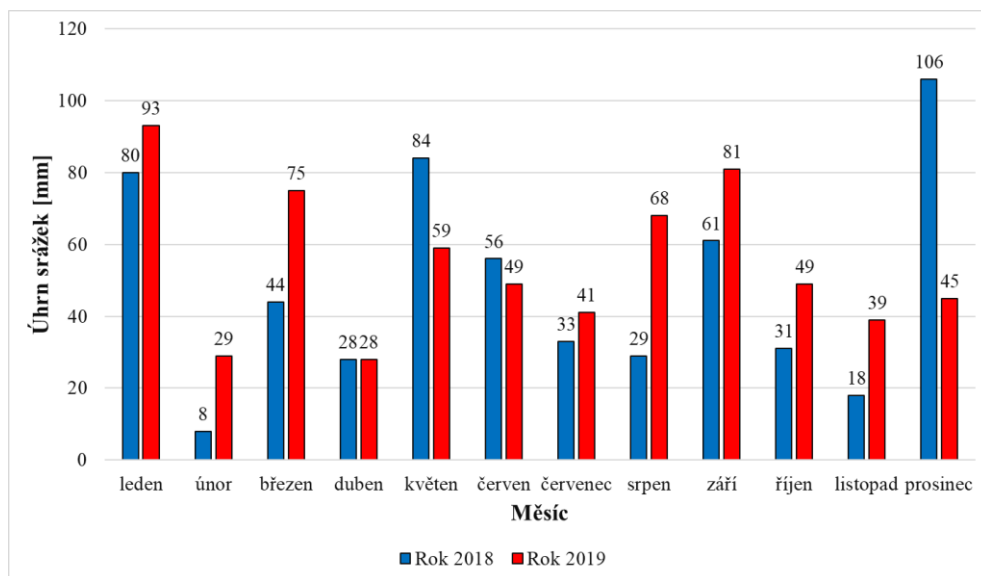
5.2.1. Klimatické podmínky

Tyto podmínky mají velký vliv na vybrané fyzikální vlastnosti, a to zejména na objemovou hmotnost, vlhkost, penetrační a tahový odpor. V této kapitole jsou zobrazeny grafy úhrnu srážek a teploty vzduchu za roky 2018 a 2019. Je však nutné dodat, že hodnoty jsou zprůměrovány pro celý Královehradecký kraj. Tudíž by se mělo na hodnoty pohlížet jako na přibližné údaje.



Graf 1 - Přehled teplot za rok 2018 a 2019 [Autor]

V grafu 1 jsou zobrazeny teploty vzduchu za roky 2018 a 2019, kdy se měřily hodnoty. Lze konstatovat, že hodnoty za oba roky jsou si v podstatě podobné. Nejpodstatnější je dubnový rozdíl, kdy za rok 2018 jsou vykazovány o 2 °C vyšší teploty. To má do jisté míry vliv na měření objemové hmotnosti, vlhkosti, penetrační i tahový odpor.



Graf 2 - Množství srážek za roky 2018 a 2019 [Autor]

Z grafu 2 je patrné, že úhrny srážek za rok 2018 i 2019 jsou velmi proměnlivé. Dubnové hodnoty jsou pro oba roky podobné, více srážek bylo naměřeno v roce 2018. Tato skutečnost má jistě vliv na objemovou hmotnost, vlhkost, penetrační a tahový odpor.

5.3. Sledované fyzikální veličiny a metody jejich měření

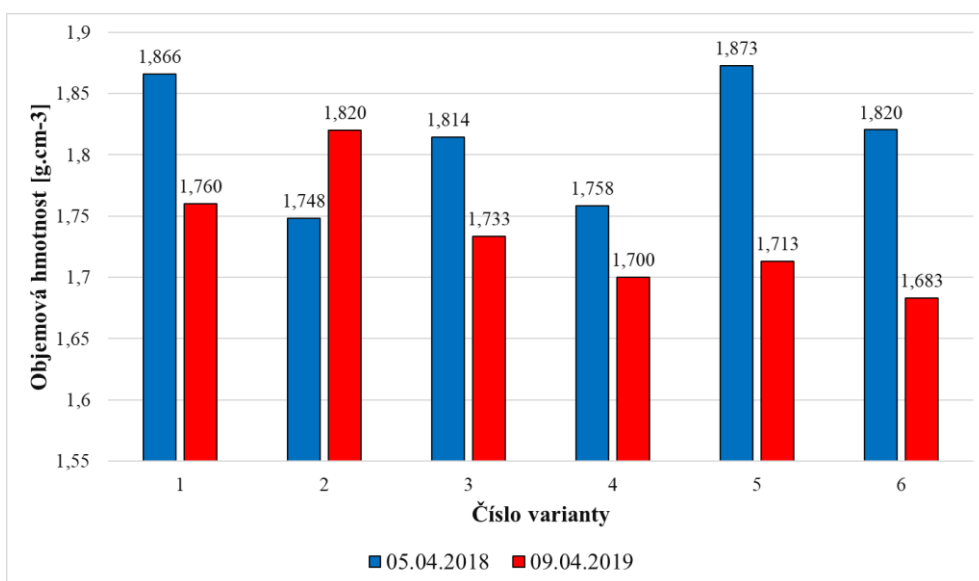
Tato kapitola se zabývá porovnáváním fyzikálních vlastností půdy. Naměřené hodnoty jsou porovnány v grafech a následně slovně okomentovány. Měření probíhalo od jara 2018 do jara 2019. V tomto časovém úseku se měřila objemová hmotnost, vlhkost, infiltrace, penetrační a tahový odpor půdy. Na hodnoty, které byly naměřené, mělo vliv mnoho faktorů. Především pěstované rostliny ovlivňující svým kořenovým systémem různé hloubky půdy. Dále jsou to klimatické podmínky. V posledních letech se stává bohužel pravidlem nedostatečné množství srážek a horká suchá léta, což má opět zásadní vliv na naměřené hodnoty. Při interpretaci je nutné brát v úvahu krátkodobé měření, tudíž výsledky nemusí být z dlouhodobého pohledu tolik vypovídající.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, porovnávat se budou hodnoty naměřené na 6 variantách pokusného pole. Poslední varianta tedy 6., je kontrolní. To znamená, že hodnoty z ostatních variant s ní budou porovnávány, aby se zjistilo, který přípravek a hnojivo má nejlepší vliv na fyzikální vlastnosti půdy.

5.3.1. Objemová a redukováaná objemová hmotnost

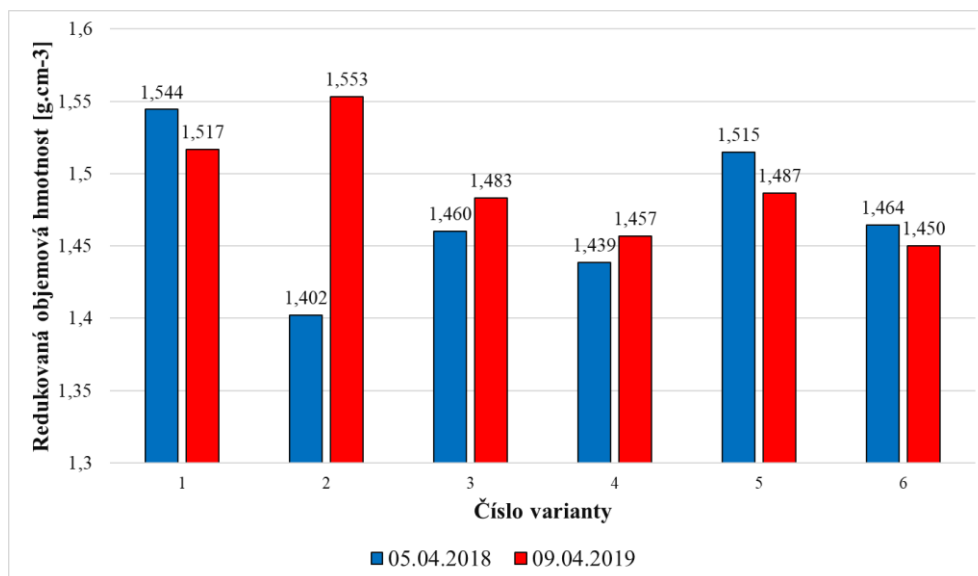
Tyto hmotnosti byly získány pomocí odběru neporušených půdních vzorků díky Kopeckého válečkům. Přesný postup odběru je uveden v metodice. Objemová hmotnost (OH) představuje hmotnost vlhké půdy a redukováanou objemovou hmotnost (ROH) představuje vysušený vzorek zbavený vlhkosti. Odebírání vzorků se uskutečnilo na jaře roku 2018 a 2019. U každé varianty se odebíraly 3 vzorky pro větší přesnost výsledků.

V následujících grafech (Graf 3, Graf 4) jsou vidět rozdíly mezi jednotlivými variantami u OH a ROH v jednotlivých letech měření.



Graf 3 - Objemová hmotnost za roky 2018 a 2019 [Autor]

Z grafu 3 je patrné, že objemová hmotnost byla v roce 2018 velmi různorodá. Oproti kontrolní variantě měla vyšší hodnoty 1. a 5. varianta. Nejvyšší hodnota $1,873 \text{ g.cm}^{-3}$ byla naměřena v 5. variantě (NeoSol + NPK). Nejnížší hodnoty vykazovala 4. varianta (kravský hnůj + NPK). V roce 2019 se všechny hodnoty kromě 2. varianty oproti předchozímu roku snížili, a to cca. o $0,1 \text{ g.cm}^{-3}$. Nárůst o $0,07 \text{ g.cm}^{-3}$ byl zaznamenán pouze v již zmíněné 2. variantě (kravský hnůj + Z'Fix + NPK). Při srovnání s kontrolní variantou v tomto roce byly všechny hodnoty vyšší. Nejnížší objemová hmotnost byla naměřena opět ve 4. variantě. Velký pokles o $0,16 \text{ g.cm}^{-3}$ byl zaznamenán v 5. variantě.

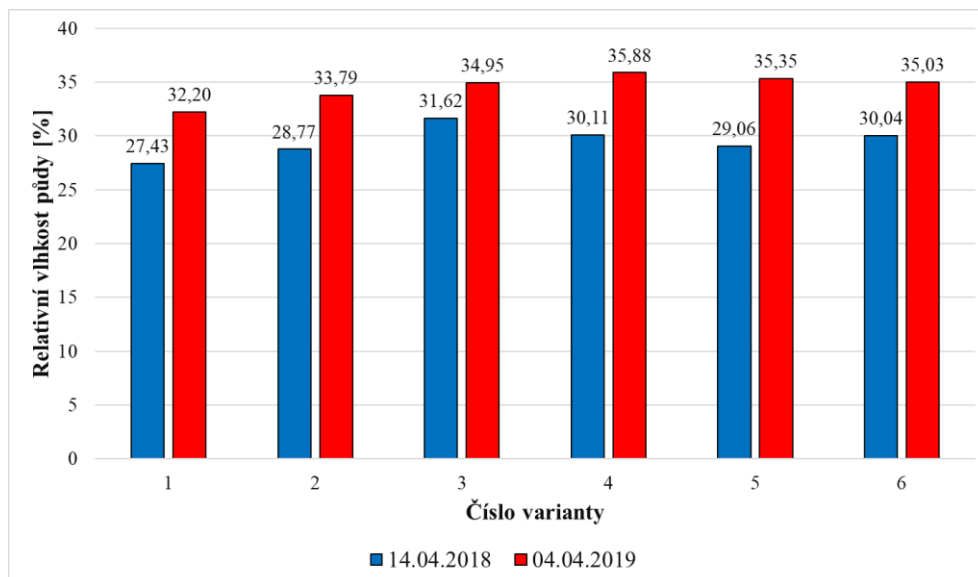


Graf 4 - Redukovaná objemová hmotnost za roky 2018 a 2019 [Autor]

Z grafu 4 redukované objemové hmotnosti lze konstatovat, že průběh hodnot je podobný jako u objemové hmotnosti. Oproti kontrolní variantě dosahovala vyšších hodnot 1. a 5. varianta, což je stejné jako u objemové hmotnosti. Nejnižší hodnotu $1,402 \text{ g.cm}^{-3}$ měla 2. varianta (kravský hnůj + Z'Fix + NPK). V roce 2019 tato shoda již neplatí, protože nárůst hodnot byl zaznamenán u 2., 3., a 4. varianty. Tento rozdíl může být způsoben zvýšenou pórovitostí a tím i vyšší koncentrací vody v půdě, která po vysušení zmizela. Za zmínku stojí rovněž velký nárůst v 2. variantě za rok 2019, který činí $0,151 \text{ g.cm}^{-3}$.

5.3.2. Vlhkost

Vlhkost půdy vypovídá, kolik procent vody je obsaženo v půdě. Na pokusném poli byla měřena pomocí vlhkoměru. Měření probíhalo na jaře roku 2018 a 2019.

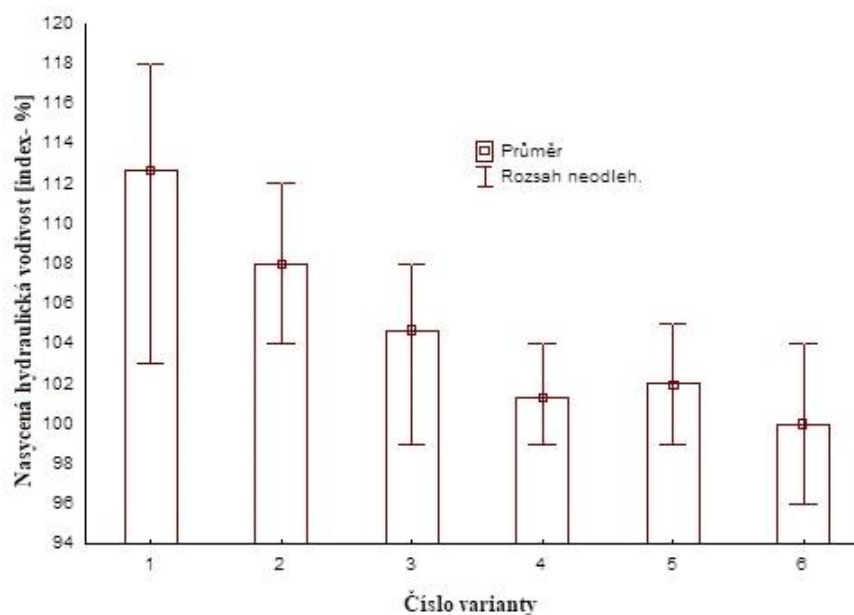


Graf 5 - Relativní vlhkost půdy za roky 2018 a 2019 [Autor]

Jak z grafu 5 vyplývá, v roce 2018 je vlhkost průměrně o 5% menší než za rok 2019. Oproti kontrolní variantě byla vlhkost nižší za oba roky v 1. a 2. variantě. Nejvyšší hodnoty dosahuje za rok 2018 3. varianta, naopak nejnižší 1. varianta. V roce 2019 nejvyšších hodnot dosahovala 4. varianta a nejnižších opět varianta 1.

5.3.3. Infiltrace

Ke stanovení infiltračních schopností půdy byla použita metoda „simplified falling-head“. Dle této metody je infiltrace převedena na nasycenou vodivost hydraulickou. Do infiltrometru se nalije známé množství vody (v tomto případě $0,5 \text{ dm}^3$) a po zasáknutí je změřen čas, ale i vlhkost povrchové vrstvy půdy. Bylo provedeno 5 opakování na každou variantu. Měření bylo provedeno na jaře roku 2019. Hodnoty jsou vidět v následujícím grafu.



Graf 6 - Infiltrace za rok 2019 [Autor]

Z grafu 6 je patrné, že se infiltrační schopnost půdy od 1. varianty až po 6. snižuje. Výjimku tvoří jen 4. varianta (kravský hnůj + NPK). Má sice o několik procent větší hydraulickou vodivost než kontrolní varianta, ale objevuje se u ní nejmenší rozsah neodlehých extrémů. Naopak největší rozsah se vyskytuje u 1. varianty. Procentuální rozdíl mezi 1. a 6. variantou činí 12,5 %.

5.3.4. Penetrační odpor

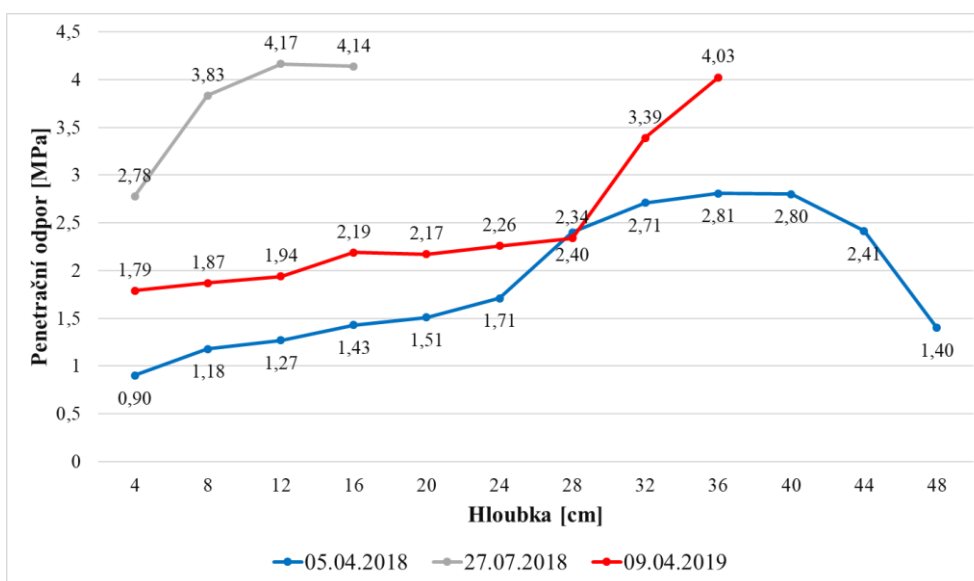
První měření penetračního odporu bylo provedeno začátkem dubna 2018. Další měření proběhlo na konci července po sklizni řepky a následné podmítce. Poslední měření bylo provedeno začátkem dubna 2019. Na každé variantě proběhlo 10 měření. Maximální hloubka měření je omezena lidskou silou, která dokázala zatlačit tyč penetrometru do země. Na penetrační odpor má největší vliv výskyt těžké půdy na pokusném poli a vlhkost půdy, která je závislá na klimatických podmínkách.

V následujících grafech bude penetrační odpor srovnáván po jednotlivých variantách podle času měření a poté bude následovat srovnání v jednotlivých hloubkách.

5.3.4.1 Penetrační odpor jednotlivých variant v čase

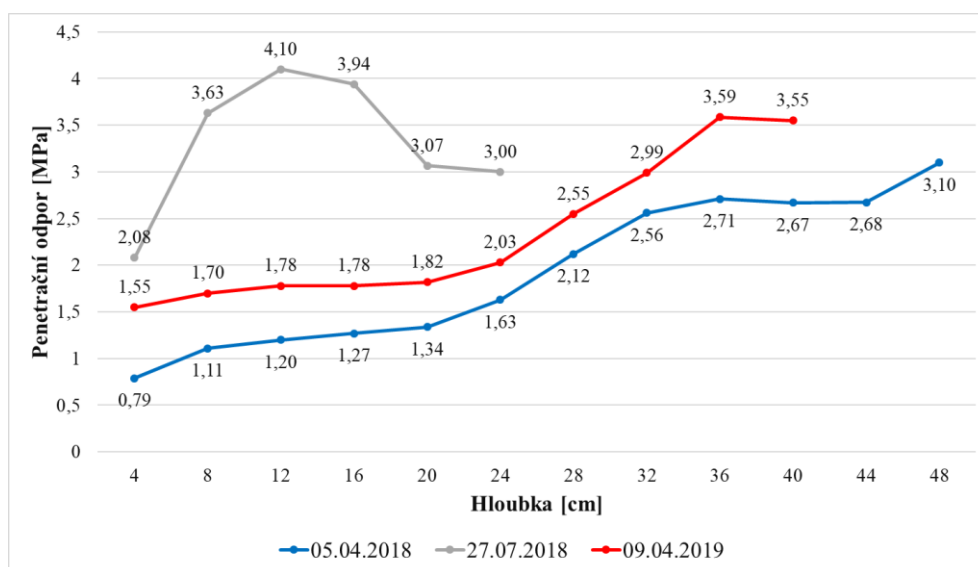
Z následujících grafů je patrný lineární nárůst přímo úměrný s hloubkou. Hodnoty do 24 až 28 cm narůstají celkem rovnoměrně, poté se odpor výrazně téměř ve všech variantách zvyšuje. Zlom nastává při dosažení 40 až 44 cm hloubky, tam nastává pokles hodnoty odporu. Obecně lze říct, že penetrační odpor narůstá až po dosažení hloubky, kde se vyskytuje mateční hornina.

Měření na konci července je zbytečné hodnotit u každého grafu zvlášť, protože tato hodnota je ojedinělá a není možné ji porovnat s rokem 2019, jelikož nebyla naměřena. Nicméně křivka výstižně vyjadřuje, do jaké míry je půda utužena po sklizni ozimé řepky a podmítce strniště.



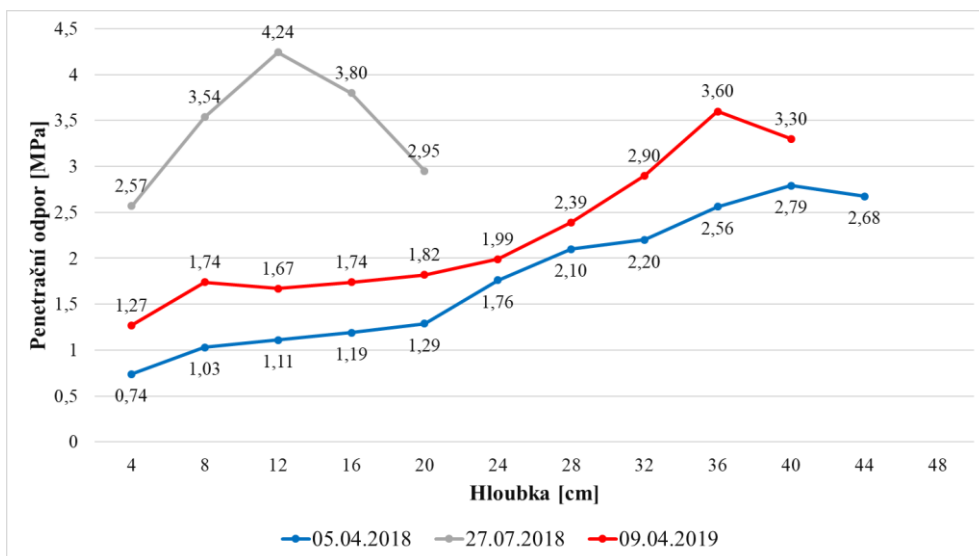
Graf 7 - Penetrační odpory v 1. variantě [Autor]

Z grafu 7 je patrné, že v roce 2018 je odpor obecně nižší. Do hloubky 20 cm byla rozdílná hodnota přibližně 0,8 MPa oproti roku 2019. Ve 24 cm se hodnoty začaly přibližovat a sjednotily se v hloubce 28 cm. Poté, hodnota za rok 2019 prudce narůstá a největšího rozdílu dosahuje v 36 cm a sice o 1,19 MPa. Další měření bylo možné jen v roce 2018 a to do hloubky 48 cm. To je patrně způsobeno tím, že následující rok bylo daleko větší sucho a tyč penetrometru nebylo možné hlouběji stlačit. Nicméně je velmi zajímavý pokles hodnoty z 2,80 MPa na 1,40 MPa v hloubce od 40 do 48 cm.



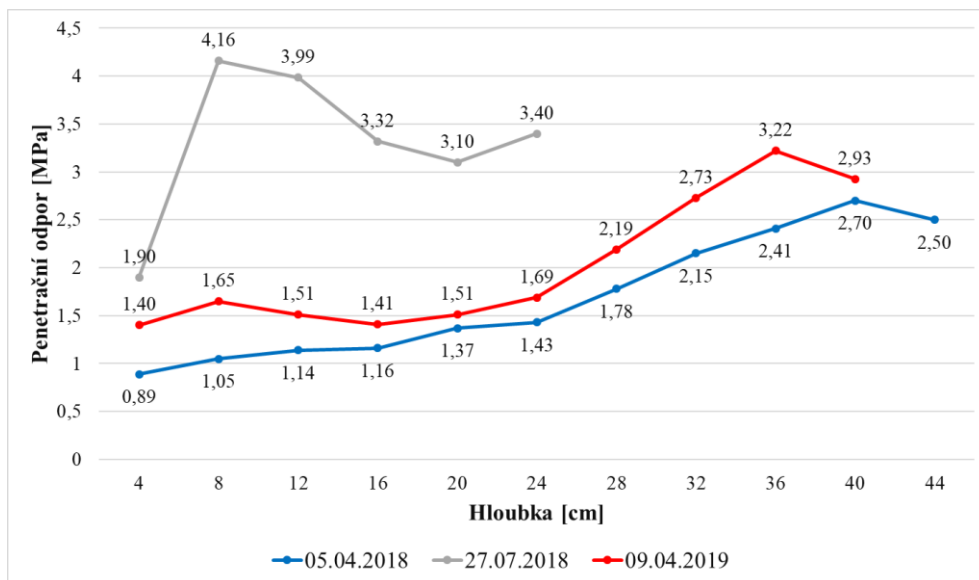
Graf 8 - Penetrační odpory v 2. variantě [Autor]

Z grafu 8 vyplývá, že v 2. variantě odpory mezi lety 2018 a 2019 nejsou tak rozdílné jako v 1. variantě. V roce 2018 se křivka postupně zvyšovala. V hloubce od 36 do 44 cm byly hodnoty téměř totožné a nárůst byl ve 48 cm na 3,10 MPa. Rovněž v roce 2019 se nárůst hodnot zastavil v hloubce 36 cm na 3,59 MPa. Avšak na rozdíl od první varianty se povedlo naměřit odpor i ve 40 cm.



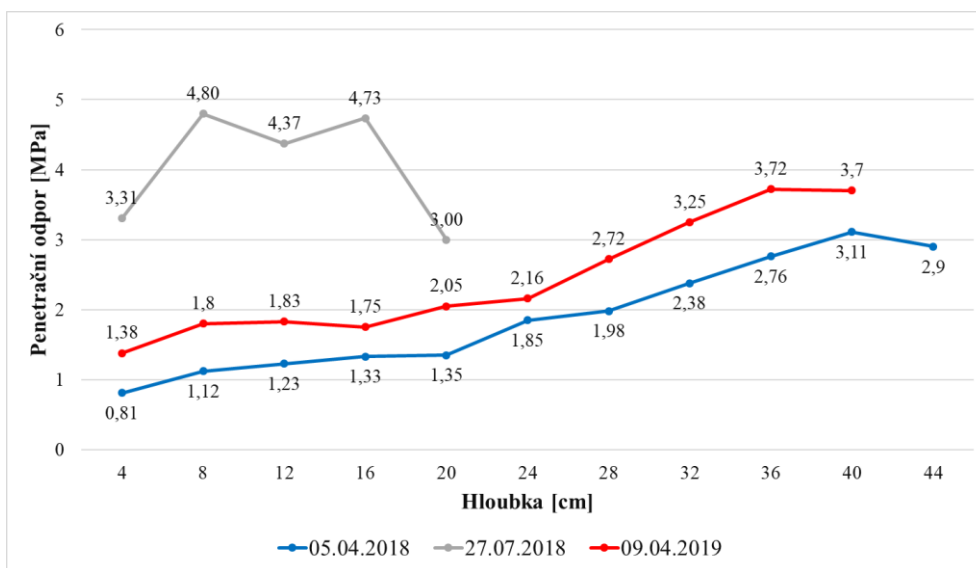
Graf 9 - Penetrační odpory v 3. variantě [Autor]

Graf 9 zobrazuje hodnoty ve 3. variantě. Průběh hodnot za rok 2018 se od 2. varianty příliš neliší. Avšak rozdíl vyplývá z velikosti penetračních odporů, které jsou nižší ve všech hloubkách. Poslední naměřená hodnota je ve 44 cm a činí 2,68 MPa. Ve 24 a 28 cm se hodnoty obou let přibližují, největší rozdíl s rokem 2019 nastává v 36 cm, kdy hodnota je o 1,14 MPa vyšší. Poslední naměřená hodnota je opět v hloubce 40 cm.



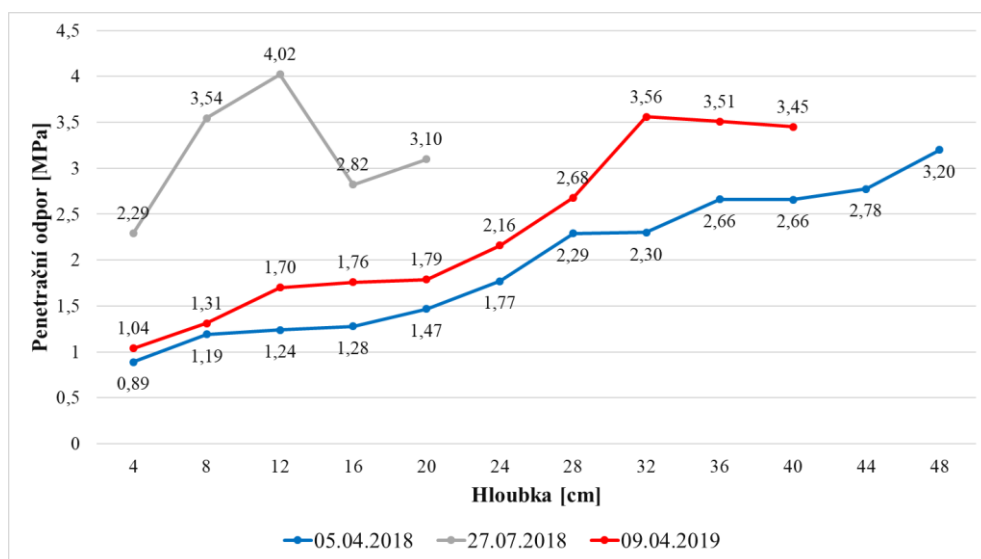
Graf 10 - Penetrační odpory v 4. variantě [Autor]

Z grafu 10 je patrné, že 4. varianta má za rok 2018 do 24 cm mírný nárůst hodnot odporu. Dále penetrační odpor začal více narůstat a zastavil se až ve 40 cm na hodnotě 2,70 MPa. Hloubka 44 cm značí opětovný pokles na 2,50 MPa. V roce 2019 jsou hodnoty opět vyšší než za předchozí rok. Zajímavé jsou velmi podobné hodnoty odporu v hloubkách 8 a 24 cm s tím, že odpor mezi těmito hloubkami je nižší. Nejvyšší hodnoty 3,22 MPa bylo dosaženo opět ve 36 cm, poté se snížila jako ve 2. a 3. variantě.



Graf 11 - Penetrační odpory v 5. variantě [Autor]

Graf 11 ukazuje, že průběh hodnot za oba roky je podobný jako v předchozí variantě. Za rok 2018 dosáhla nejvyšší hodnota 3,11 MPa opět ve 40 cm a poté se snížila. V roce 2019 se naměřily větší hodnoty jako v předešlých variantách s tím, že hodnota 3,72 MPa v hloubce 36 a 40 cm byla téměř shodná.

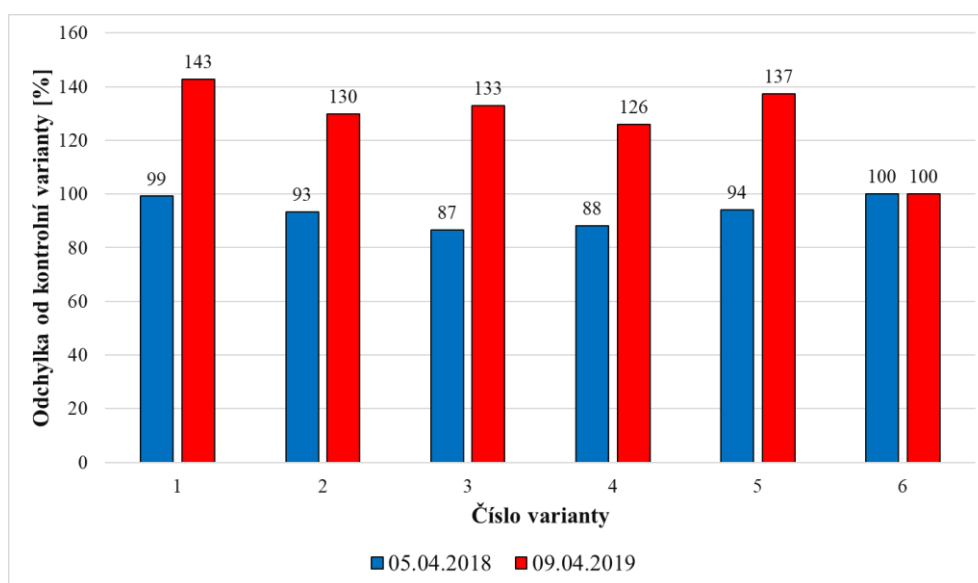


Graf 12 - Penetrační odpory v 6. variantě [Autor]

V grafu 12 jsou hodnoty kontrolní varianty. V roce 2018 se maximální hodnota 3,20 MPa naměřila v 48 cm. Rok 2019 je opět charakteristický vyššími hodnotami než v předešlém roce. Rozdíl je ovšem v maximální hodnotě 3,56 MPa, která byla naměřena ve 32 cm a nepatrně klesala do 40 cm.

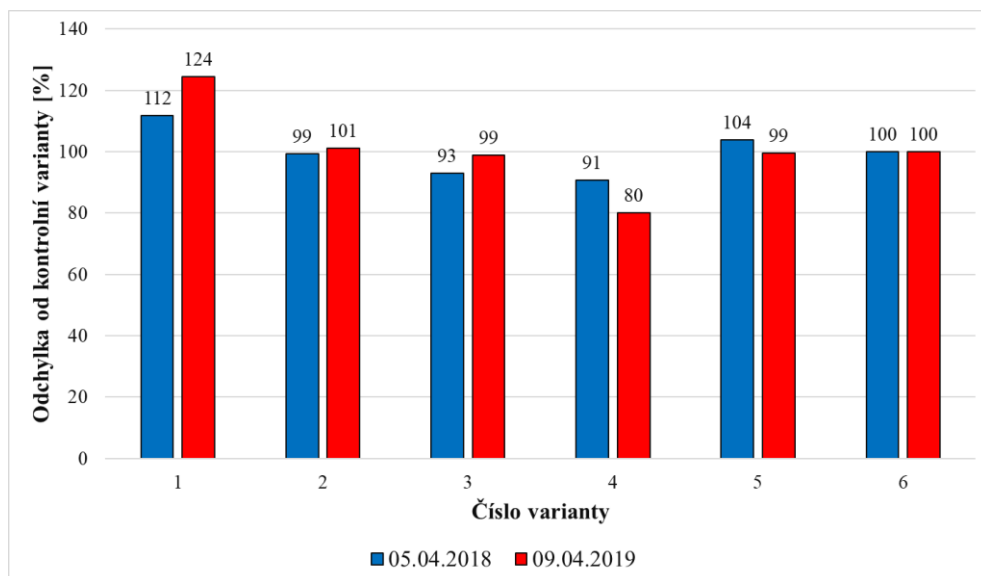
5.3.4.2 Penetrační odpor v jednotlivých hloubkách

V následujících grafech budou porovnávány penetrační odpory v jednotlivých hloubkách vtažené k průměru kontrolní varianty. Hodnoty v této variantě budou vždy dosahovat 100 % a odpory v ostatních variantách budou znázorněny jako odchylka od kontrolní varianty. V porovnávání budou vynechány hodnoty měřené na konci července 2018, protože další rok v tomto období měření neproběhlo, tudíž není možné hodnoty porovnat.



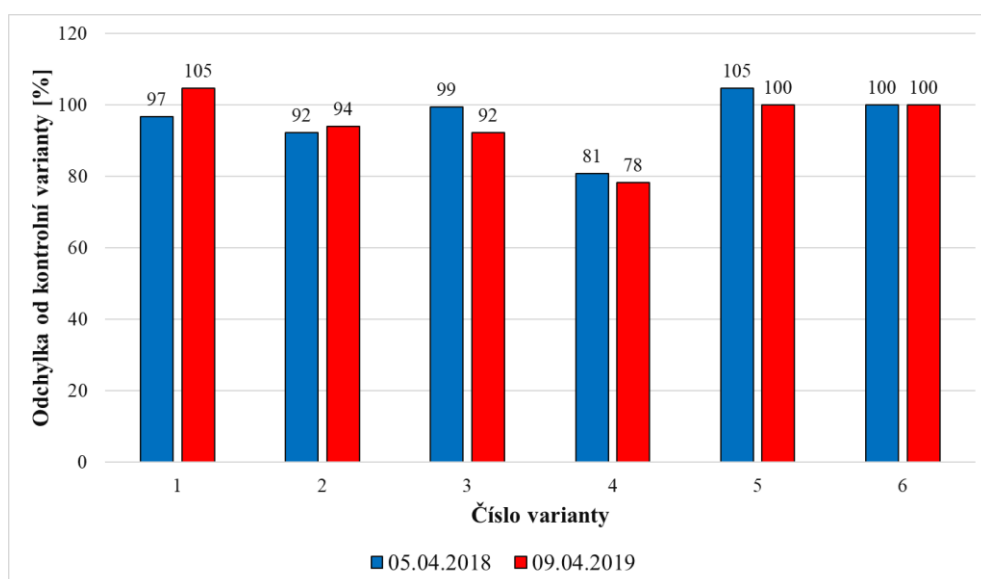
Graf 13 - Penetrační odpor v 8 cm [Autor]

Z grafu 13 vyplývá, že za rok 2018 byl v této hloubce největší penetrační odpor právě u kontrolní varianty. Nejnižší naměřená hodnota byla o 13 % menší. V roce 2019 se ovšem penetrační odpor výrazně zvýšil ve všech variantách. Největší rozdíl 43 % byl zaznamenán u 1. varianty.



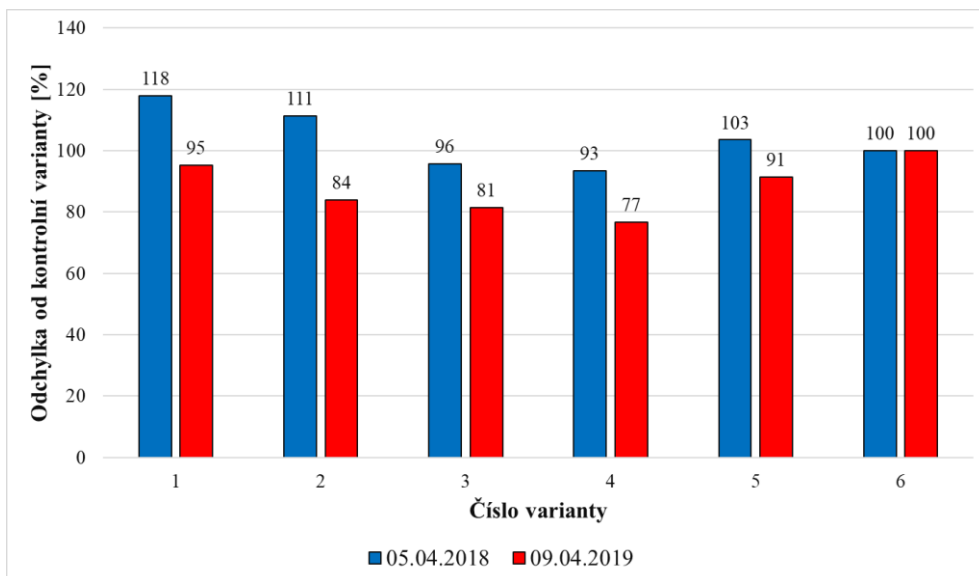
Graf 14 - Penetrační odpor v 16 cm [Autor]

Jak graf 14 ukazuje, oproti hloubce 8 cm se rozdíl mezi roky jednotlivými lety výrazně snížil. V roce 2018 byl větší odpor zaznamenán v 1. variantě o 12 % a v 5. variantě jen o 4 % oproti kontrole. V následujícím roce byl nárůst zaznamenán také v 1. variantě a to o 24 %. Nejmenších hodnot v obou letech dosahovala 4. varianta.



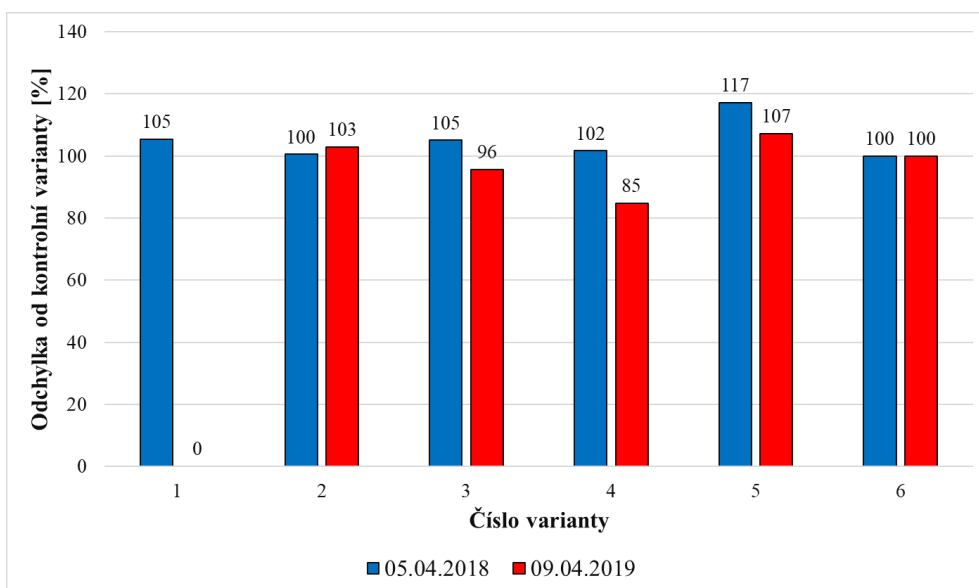
Graf 15 - Penetrační odpor v 24 cm [Autor]

Z grafu 15 lze konstatovat, že v hloubce 24 cm oproti kontrolní variantě je vyšší za rok 2018 5. varianta o 5 %, ostatní jsou nižší. Nejnižší hodnoty dosahuje opět 4. varianta s rozdílem 19 % oproti kontrole. V roce 2019 je vyšší 1. varianta o 5 %. U ostatních je odchylka nižší, kromě 5. varianty, kde je stejná.



Graf 16 - Penetrační odpor v 32 cm [Autor]

Z grafu 16 je patrné, že v hloubce 32 cm za rok 2018 odchylky přesahují kontrolní variantu v 1., 2., a 5. variantě, s tím že nejvyšší hodnotu 118 % má 1. varianta. V roce 2019 jsou všechny varianty s nižší hodnotou, než je u kontroly. Nejnižší odchylku 77 % má opět 4. varianta.



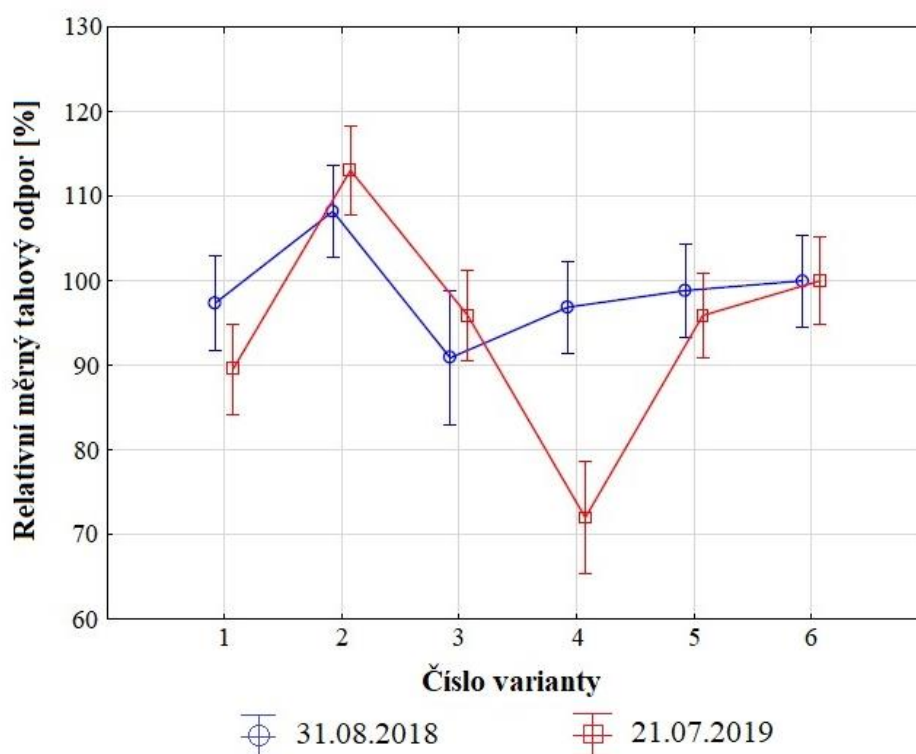
Graf 17 - Penetrační odpor v 40 cm [Autor]

Jak z grafu 17 vyplývá, v hloubce 40 cm hodnota za rok 2018 ve všech variantách převyšuje tu kontrolní. Výjimku tvoří 2. varianta, kde je shoda. V roce 2019 převyšuje kontrolní variantu o 3 % 2. varianta. Nejnižší odpor byl zaznamenán ve 4. variantě s 15 % rozdílem. V 1. variantě se v roce 2019 nepodařilo hodnotu naměřit patrně vlivem nedostatečné lidské síly. Lze tedy předpokládat, že právě tam by byla nejvyšší hodnota oproti kontrolní variantě.

5.3.5. Tahový odpor

Měření tahového odporu bylo provedeno v létě roku 2018 i 2019. Velikost naměřených hodnot je ovlivněna více faktory, protože se však jedná o jeden pozemek, jsou fyzikální vlastnosti velmi podobné. Avšak vlastnosti, které se budou lišit, jsou právě předmětem pokusu. Důležitým faktorem, který do jisté míry ovlivňuje měření, je vlhkost. Jak již bylo zmíněno, fyzikální vlastnosti jsou na všech variantách velmi podobné vlhkosti nevyjímaje. Nicméně v roce 2019 byla vlhkost půdy o trochu větší.

Pro měření v obou letech byla použita souprava dvou traktorů a radličkového podmítače Farnet Hurikán o pracovním záběru 6 metrů a hloubkou zpracování od 8 do 12 cm. Záběr při měření byl jen záběr o šířce 2,8 metrů, tj. složené nářadí. V roce 2018 byl použit jako tažný traktor New Holland T8030 o jmenovitém výkonu 201 kW. Následující rok byl použit John Deere 8320 R s jmenovitým výkonem 235 kW. Oba tyto traktory měly v zadním tříbodovém závěsu připojenou tenzometrickou tyč, pomocí které tahaly další traktor s již zmíněným radličkovým kypřičem. Druhý traktor slouží pouze jako nosič nářadí. Jde tedy o mrtvou váhu. Pozici i rychlost soupravy určovala technologie GPS. Přes jednotlivé varianty bylo provedeno více přejezdů. V obou letech byl u některých variant problém s rostlinnými zbytky, přejezdy musely opakovat. Protože pokusné pole je na svahu, tak jízdy byly provedeny úhlopříčně proti svahu v obou směrech.



Graf 18 - Tahový odpor za roky 2018 a 2019 [Autor]

V grafu 18 jsou zobrazeny tahové odpory za oba roky měření. Hodnoty jsou uspořádány opět tak, že se porovnávají s kontrolní variantou, která představuje 100 %. Z tohoto způsobu srovnání jednotlivých variant jsou rozdíly lépe poznat.

V roce 2018 se tahový odpor oproti kontrole zvýšil pouze v druhé variantě o 8 %. V ostatních variantách byl odpor nižší a nejnižší byl ve 3. variantě s rozdílem 9 %. Výsledky měření za rok 2019 mají téměř stejný průběh jako přechozí rok. Vyšší tahový odpor vykazuje pouze 2. varianta s rozdílem 14 %. Nejnižší odpor byl zaznamenán ve 4. variantě, kde byl rozdíl oproti kontrole 28 %.

6. Vyhodnocení

V této kapitole jsou zhodnoceny veškeré výsledky měření fyzikálních vlastností půdy, které byly provedeny v letech 2018 a 2019. Šlo o měření objemové a redukované objemové hmotnosti, vlhkosti, infiltrace, penetračního a tahového odporu. Jednotlivé grafy s hodnotami jsou popsány v kapitolách 5.3.1 až 5.3.5.

6.1. Objemová a redukovaná objemová hmotnost

Objemová hmotnost a redukovaná objemová hmotnost byly první sledované veličiny. Obecně lze říct, že je můžeme řadit mezi významné půdní vlastnosti. Určujeme z nich pórovitost, vlhkost půdy. Dále to, jak je půda utužená nebo úrodná.

Z grafu 3 je patrné, že u všech variant kromě 2. (kravský hnůj + Z'Fix + NPK) došlo ke snížení objemové hmotnosti. V roce 2018 byla vůči kontrole nižší 2., 3. a 4. varianta. V roce 2019 došlo k velkému snížení v 1. variantě (kravský hnůj + Z'Fix + NeoSol + NPK) a rovněž v 5. (NeoSol + NPK). U 3. a 4. varianty nebyl pokles tak výrazný. Zajímavý je značný pokles objemové hmotnosti u kontrolní varianty (NPK). Dokonce jde o nejmenší hodnotu z tohoto roku.

U graf 4 redukované objemové hmotnosti lze konstatovat, že je průběh podobný jako u objemové hmotnosti. Rozdíl byl zaznamenán pouze u 3. a 4. varianty, kde byl v roce 2019 nepatrný nárůst. Tato změna bude patrně způsobena tím, že v těchto variantách bude větší pórovitost, tedy i větší koncentrace vody. Největší nárůst byl zaznamenán v 2. variantě. Celkově lze říct, že rozdíly mezi lety nejsou tak značné.

Závěrem je možné říct, že vybrané pomocné půdní látky mají dobrý vliv na objemovou hmotnost. Nejlepší výsledek byl zaznamenán při použití samotného NeoSolu a poté kombinaci NeoSolu, NPK a kravského hnoje ošetřeného Z'Fixem. U redukované objemové hmotnosti byl pokles opět u 5. varianty, což utvrzuje zjištění u objemové hmotnosti.

6.2. Vlhkost

Hodnoty relativní vlhkosti půdy v grafu 5 ukazují, že v roce 2019 byl u všech variant zaznamenán zhruba 5% nárůst. Rozdíl může být způsoben klimatickými podmínkami, zejména množstvím srážek. Měření probíhá jen v povrchové vrstvě půdy, tudíž k rozdílu stačí i menší množství srážek pár dnů před měřením. Obsah vody v hlubších vrstvách může mít odlišný výsledek a je závislý na dlouhodobému průběhu počasí.

Proto uvádím, že z naměřených hodnot nelze jednoznačně stanovit, zda některá pomocná půdní látka má zásadní vliv na vlhkost půdy.

6.3. Infiltrace

Z grafu 6 zobrazující nasycenou hydraulickou vodivost, tedy infiltraci, je patrný pokles hodnot od 1. po 6. variantu, a to o 12,5 %. Toto zjištění bude patrně způsobené tím, že pokusné pole je na svahu (1. varianta je nejnižší). Výjimka v posloupném poklesu infiltrace je zaznamenána ve 4. variantě, kde nebyl použit NeoSol. Z toho lze konstatovat, že NeoSol má pozitivní vliv na vsakování vody.

Vlivem větrné a zejména vodní eroze jsou splachovány lehké písčité částice, které usnadňují vsakování vody do půdy. Přibýly tak časy potřebné k vsáknutí vody. Zatímco v 1. variantě se jednalo o minuty, tak v posledních variantách šlo řádově o desítky minut. Bylo to způsobeno tím, že vlivem sucha se na povrchu vytvořila krusta, u které byl potřeba značný čas, než propustila vodu.

6.4. Penetrační odpor

Hodnoty naměřeného penetračního odporu jsou graficky zobrazené v kapitole 5.3.4. Na každé variantě bylo provedeno 10 měření, z čehož lze odvodit, že jde o statisticky vypovídající parametr. Výsledky prvního měření 2018 ukázaly, že nejutuženější je 1. varianta (kravský hnůj + Z'Fix + NeoSol + NPK) a nejméně utužená 3. varianta (kravský hnůj + NeoSol + NPK) do 20 cm a od 24 cm 4. varianta (kravský hnůj + NPK). Tyto výsledky ovšem platí do hloubky 36 cm, poté je to již velmi různorodé. Druhé měření nelze porovnávat, protože následující rok nebylo ve stejné období provedeno. Nejméně utužená v roce 2019 byla opět 4. varianta a nejvíce varianta 5.

Za rok 2019 byla nejvíce utužena opět 1 varianta a nejméně varianta 4. Je nutné ještě zmínit, že tento rok byla půda více utužena, protože veškeré hodnoty byly větší a maximální naměřená hloubka dosahovala jen 40 cm, což je o 8 cm méně než v předchozím roce. Je nutné však podotknout, že ne ve všech hloubkách byly zmíněné varianty nejvíce nebo nejméně utužené, ale převážná část ano.

Z těchto výsledků tedy vyplývá, že z pomocných půdních látek ke zmenšení penetračního odporu nejvíce napomáhá NeoSol. Z'Fix, ač je to užitečná látka, nemá na penetrační odpor zásadní vliv.

6.5. Tahový odpor

Poslední měřená fyzikální vlastnost půdy byl tahový odpor. Z tabulky 5 vyplývá, že oproti kontrole byl nárůst tahového odporu pouze v 2. variantě (kravský hnůj + Z'Fix + NPK). Nárůst mezi lety 2018 a 2019 byl zaznamenán také ve 3. variantě (kravský hnůj + NeoSol + NPK). To může být způsobeno menším množstvím srážek. Velký vliv mají i opakované přejezdy přes pozemek. V ostatních variantách byl již tahový odpor menší než u kontrolní varianty a nejpříznivější pokles o 24,7 % byl zaznamenán ve 4. variantě (kravský hnůj + NPK).

Číslo varianty	Hodnoty tahového odporu		Meziroční pokles
	2018	2019	
1	97,3 %	89,6 %	7,7 %
2	108 %	114 %	-6 %
3	90,85 %	96 %	-5,15 %
4	96,7 %	72 %	24,7 %
5	99 %	95,6 %	3,4 %
6	100 %	100 %	0 %

Tabulka 5 - hodnoty tahového odporu za roky 2018 a 2019 [Autor]

Na závěr k tahového odporu lze konstatovat, že z vybraných látek hodnoty nejvíce snižuje NeoSol, stejně jako u penetračního odporu.

7. Přehled výnosů a cen vybraných látek

V této kapitole jsou uvedené výnosy za roky 2018 a 2019 v jednotlivých variantách. Dále jsou zde uvedeny náklady na vybrané pomocné půdní látky, které byly na jednotlivé varianty aplikovány.

V následujících tabulkách bude zobrazen přehled výnosů za oba roky a výkupní ceny podle zpráv Agrární komory České republiky. [50]

Varianta	Hnojivo a PPL	Výnos [t]	Výkupní cena [9057 Kč/t]
1	Kravský hnůj + Z'Fix + NeoSol + NPK	4,04	36590
2	Kravský hnůj + Z'Fix + NPK	3,99	36137
3	Kravský hnůj + NeoSol + NPK	3,66	33149
4	Kravský hnůj + NPK	3,40	30794
5	NeoSol + NPK	3,44	31156
6	NPK	3,20	28982

Tabulka 6 -Přehled výnosů za rok 2018 [Autor]

V tabulce 6 je zobrazený přehled výnosů řepky olejky pěstované v roce 2018. Sklizeň proběhla 16. 07. 2018, tudíž výkupní ceny 9057 Kč/t je uvedena k tomuto měsíci. Z tabulky lze konstatovat, že největších výsledků dosáhla 1. varianta, kde byly aplikované obě látky. Ovšem rozdíl oproti 2. variantě je nepatrný, z čehož lze usuzovat, že kravský hnůj ošetřený Z'Fixem má na výnosnost větší vliv, než NeoSol.

Varianta	Hnojivo a PPL	Výnos [t]	Výkupní cena [4363 Kč/t]
1	Kravský hnůj + Z'Fix + NeoSol + NPK	7,86	34424
2	Kravský hnůj + Z'Fix + NPK	7,62	33246
3	Kravský hnůj + NeoSol + NPK	7,39	32243
4	Kravský hnůj + NPK	7,30	31850
5	NeoSol + NPK	6,66	29058
6	NPK	6,40	27923

Tabulka 7 - Přehled výnosů za rok 2019 [Autor]

V tabulce 7 je promítnutý přehled výnosů ozimé pšenice pěstované v roce 2019. Sklizeň proběhla 09. 08. 2019, výkupní cena 4363 Kč/t je opět uvedena k tomuto měsíci. Z tabulky je patrné, že stejně jako v předchozím roce je největšího výnosu dosaženo v první variantě. Dále se opět potvrdily závěry z roku 2018, že NeoSol nemá takový vliv na výnosnost jako Z'Fix, který je aplikován do hnoje.

V druhé části této kapitoly jsou uvedené ceny vybraných pomocných půdních látek. Cena NeoSolu se pohybuje v internetových obchodech okolo 500 Kč bez DPH za 25 kg balení. U Z'Fixu je podle příbalového letáku dávka u jedné laktující dojnice 1 kg/ks/týden. Přičemž produkce hnoje u jedné dojné krávy je podle Agronormativu 8,5 kg/den. Za týden jde o 59,5 kg, z čehož je zřejmé, že na dávku 30 t. je potřeba 505 kg Z'Fixu. Cena Z'Fixu se pohybuje v internetových obchodech okolo 600 Kč bez DPH za 25 kg balení.

Z těchto údajů vyplývá, že pořizovací náklady na 150 kg NeoSolu jsou 3000 Kč bez DPH. U Z'Fixu jde o částku ve výši 12 600 Kč bez DPH.

8. Závěr

Cílem této práce bylo zjištění vlivu aplikace přípravků pro zlepšení vitálních funkcí půdy na vybrané půdní vlastnosti v zemědělském podniku ZEPO Bělohrad, a. s. Hodnoty jednotlivých fyzikálních vlastností byly naměřeny v letech 2018 a 2019. Na základě získaných hodnot autor posuzoval, jakým způsobem působí jednotlivé druhy hnojiv a pomocných půdních látek na půdu.

V úvodní části byl čtenář seznámen s problematikou půdy, cílem a metodikou práce. Byly zde popsány jednotlivé postupy při měření a následné získání hodnot. Mezi měřené fyzikální vlastnosti patří objemová hmotnost, redukovaná objemová hmotnost, vlhkost, infiltrace, penetrační a tahový odpor.

Dále následovala teoretická část práce, kde byla popsána půda jako taková, její vznik a složení. Větší pozornost byla věnována fyzikálním, chemickým a biologickým vlastnostem půdy. Dále se autor zaměřil na popis jednotlivých degradací půdy, které jsou stále větším problémem pro současné hospodaření s půdou. Vlivem jednotlivých degradací dochází stále více k znehodnocování zemědělské půdy. Bohužel velká část polí je drancována velkými společnostmi za účelem co největšího zisku, a nikoliv šetrnému zacházení s půdou. V poslední části teoretické části jsou popsány pomocné půdní látky, organická a průmyslová hnojiva. Zejména pak ty, které byly použity na pokusné pole.

Následovala praktická část. V jejím úvodu byla popsána společnost ZEPO Bělohrad, a. s. a pokusné pole, kde byly prováděny veškeré měření a odběry půdních vzorků. Pokusné pole bylo rozděleno do 6 variant s tím, že na každé variantě bylo aplikované jiné hnojivo a pomocná půdní látka. Prvních 5 variant obsahovalo v různém zastoupení kravský hnůj, vícesložkové hnojivo NPK a pomocné půdní látky Z'Fix a NeoSol. Poslední, tedy 6. varianta (kontrolní), obsahovala pouze vícesložkové hnojivo NPK a výsledky měření byly porovnávány právě s hodnotami kontrolní varianty. Dále bylo zapotřebí přiblížit klimatické podmínky, které mají zásadní vliv na sledované fyzikální vlastnosti. Hlavně množství srážek a teplotu vzduchu. Podstatná část praktické části bylo věnováno grafickému zobrazení naměřených hodnot a následné porovnání mezi sebou. U každého grafu, který byl zpracován programem MS Excel nebo Statistica, rovněž nechyběl slovní popis skutečností v grafech.

V poslední části práce byly zhodnoceny výsledky měření a možnost vlivu veškerých zmíněných přípravků na půdu. Nejlepších výsledků u fyzikálních vlastností půdy dosáhla pomocná půdní látka NeoSol, která přispěla ke zlepšení objemové hmotnosti, redukované objemové hmotnosti, infiltrace, penetračního odporu a tahového odporu. Z'Fix autor hodnotí také jako užitečnou látku, avšak podle výsledků měření nemá na fyzikální vlastnosti zásadní vliv. Její pozitivní účinek by se jistě potvrdil při sledování chemických vlastností, protože snižuje emise amoniaku u podestýlky, napomáhá udržení dusíku v hnoji a zlepšuje fermentaci u kejdy atd. Rovněž její pozitivní vliv se promítl v 7. kapitole. Varianty obsahující kravský hnůj ošetřený Z'Fixem vykazovali nejlepší výnosnost jak u řepky olejky, tak i ozimé pšenice.

Z celkového vyhodnocování autor dospěl k názoru, že vybrané přípravky mají pozitivní vliv na vlastnosti a úrodnost půdy. Je však nutné brát v potaz, že měření probíhalo pouze 2 roky. Pro přesnější výsledky by bylo nutné dlouhodobější pozorování. Dále je potřeba uvažovat ekonomickou náročnost použití těchto přípravků. Lze říct, že jejich využití souvisí na míře ovlivnění výnosů a výkupní cenou jednotlivých plodin. Ke zjištění rentability by bylo zapotřebí znát veškeré náklady související s aplikací zmíněných přípravků.

Závěrem je třeba ještě zmínit fakt, že samotná aplikace vybraných přípravků k dlouhodobému zlepšení půdní vlastnosti ani úrodnost nestačí. K tomu jsou ještě zapotřebí vhodné klimatické podmínky, a především dostatek srážek. Dále řádné hospodaření s půdou. Ať už konvenční nebo opakované minimalizační zpracování půdy, protierozní opatření, hnojením nejlépe organickými hnojivy nebo dodržování osevních postupů.

9. Seznam použité literatury

[1] VALLA, M. *Pedologické praktikum*. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, 2002. ISBN 80-213-0914-8.

[2] HAMMEROVÁ, A. *Odběr půdních vzorků* [online] [cit. 2020-02-02] Dostupné z: http://www.web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19poster_odber_pudnich_vzorku.pdf

[3] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2019 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)

[4] TUF, I. H. *Praktika z půdní zoologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3479-7.

[5] ŠARAPATKA, B. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.

[6] KUTÍLEK, M. *Půda planety Země*. Praha: Dokořán, 2012. Bod (Dokořán). ISBN 978-80-7363-212-0.

[7] *Složení půdy* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71346

[8] *Definice půdy* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=55088

[9] *Půdní vlastnosti* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71347

[10] Ucebnice.Remediace.CZ. *Ucebnice.Remediace.CZ* [online] [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://ucebnice.remедиace.cz/default.asp?oid=03020100002&fid=140>

[11] BADALÍKOVÁ, B., HRUBÝ, J. *Fyzikální stav půdy u různých systémů jejího zpracování* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/fyzikalni-stav-pudy-u-ruznych-systemu-jejeho-zpracovani/>

- [12] CHYBA, J., KROULÍK, M., KUMHÁLA, F., NOVÁK, P. a LEV, J. Podtyp: Příspěvek ve sborníku (mimo kategorie RIV); Vliv technogenního zhutnění půdy na pórovitost a infiltrační vlastnosti půdy. 2014, Název: Nové trendy v návrhu a využití strojů v agropotravinářském komplexu a odpadovém hospodářství. Datum konání: 28.–30. dubna 2014. Místo konání: Praha. Stránky: 118-123. ISSN 1802-2391.
- [13] LHOTSKÝ, J.: *Zhutňování půd a opatření proti němu*: (studijní zpráva) = Soil compaction and measures against it: (review). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000, 61 s. Studijní informace. ISBN 80-7271-067-2.
- [14] Hůla, J. Některé možnosti penetrometrie při hodnocení půdních vlastností. *Mechanizace zemědělství*. 1996
- [15] CHAMEN T. et al. ASAE Paper. 1990, No. 90-1073.
- [16] ŠAŘEC, P., PROŠEK, V., ŠAŘEC, O.: *Přístroj pro měření utužení půdy s laserovým snímáním hloubky – laserový penetrometr* [patent]. Česká republika. Užité vzor, CZ 20252 U1. Uděleno 6. 10. 2009.
- [17] *Rozměry penetračních kuželů podle ASAE* [online]. In: . [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Tip-geometry-for-ASAE-standard-large-cone-ASAE-standard-small-cone-and-Veris-EC-sensing_fig1_43261906
- [18] *Mechanizace zemědělství | Odborný měsíčník zaměřený na problematiku zemědělské, lesnické a komunální techniky* [online] 2003. [cit. 2020-02-19] Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/specialni-zarizeni-pro-mereni-variability-pudnich-vlastnosti/>
- [19] *University information system MENDELU*. Zařízení pro měření tahového odporu mechanizačních prostředků [online]. [cit. 2020-02-19] Dostupné z: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2004/obsahy/enviro/musil_j.pdf
- [20] VOLTR, V.: *Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí*. Praha: Ústav zemědělské ekonomiky a informací, 2011. ISBN 978-80-86671-86-4.
- [21] JANEČEK, M.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*: Metodika. 1. Vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.

- [22] MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Malden, MA: Blackwell Pub., 2005. ISBN 1-4051-1781-8.
- [23] NOVÁK, P. *Vodní eroze* [online]. In: . 25. 4. 2017 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/clanky/vodni-eroze-a-zpracovani-pudy-v-podminkach-cr-248>
- [24] HŮLA, J., KOVAŘÍČEK, P., KROUHLÍK, M.: *Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin*. Listy cukrov. řepař., 126, 2010 (1), 22–26 s.
- [25]. LARSON, D.L. AND H.E. CLYMA Electro-osmosis effectiveness in reducing tillage draft force and energy forces. *Transactions of ASAE*, 1995, 38: 1281-1288.
- [26] JANDÁK, J. *Vliv půdních pomocných látek na fyzikální a chemické vlastnosti půdy: původní vědecká práce*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7375-986-5.
- [27] KROULÍK, M., BRANT, V., *Prezentace.: Utužení a zhutnění půdy* [online] 2017. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://cpz.czu.cz/dl/53914?lang=cs>
- [28] PRIKNER, P. *Vliv zatížení pneumatik na půdu* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu/>
- [29] ŠARAPATKA, B., BEDRNA Z. *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Uni-verzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0584-9.
- [30] FIALOVÁ, Z. *Úbytek půdy je stále alarmující* [online]. 23.11.2009 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_091123_Zemedelec
- [31]. SPILKOVÁ, J., ŠEFRNA, L. Uncoordinated new retail development and its impact on land use and soils: A pilot study on the urban fringe of Prague, Czech Republic. 2010. *Landscape and Urban Planning* 94 (2010), s. 141–148.
- [32] KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-01-02237-4.
- [33] PRAX, A., JANDÁK, J. a POKORNÝ, E. *Půdoznalství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995. ISBN 8071571458.
- [34] HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-28-1.

- [35] BIČÍK, I., CIBULKA, J. *Půda v České republice*. Editor Ivo HAUPTMAN, editor Zdeněk KUKAL, editor Karel POŠMOURNÝ. Praha: Pro Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství vydal Consult, 2009. ISBN 80-903482-4-6.
- [36] *Složení půdy* [online]. In: . [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/150/11890.jpg
- [37] ŠIMEČKOVÁ, J. *Zrnitostní složení půdy* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf
- [38] SCHMIDT, H.: 55 Anwendungen von Pflanzenkohle. Ithaka [online]. 2012-12-29 [cit. 2020-02-13]. Dostupné na: <http://ithaka-journal.net/druckversionen/162012/pflanzenkohle-anwendungen.pdf>
- [39] LEHMANN, J.: Biouhel. Svědectví Dr. Johannese Lehmana z Cornellovy university, Ithaca, NY, USA [online]. 2009-06-18 [cit. 2020-02-13] Dostupné na http://amper.ped.muni.cz/gw/uhel/Lehmann_cz.pdf
- [40] *Biouhel* [online]. In: . [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/150/11890.jpg
- [41] RICHTER, R., ŘÍMOVSKÝ, K. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1996. Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80-7105-117-9.
- [42] RICHTER, R., HLUŠEK, J. *Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1996. Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80-7105-121-7.
- [43] Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.podnikatel.cz/zakony/zakon-o-hnojivech-pomocnych-pudnich-latkach-pomocnych-rostlinnych-pripravcich-a-substratech-a-o-agrochemickem-zkouseni-zemedelskych-pud-zakon-o-hnojivech/uplne/>

[44] Firemní literatura společnosti PRP Technologies.

[45] *ZEPO Bělohrad, a. s.: o firmě* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z:
<http://www.zepo-belohrad.cz/o-firme>

[46] *EKatalog BJEP* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/51512>

[47] PASTOREK, Z. *Technologické systémy rostlinné výroby*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2002. ISBN 80-238-9956-2.

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Půdní druhy	12
Tabulka 2 - Rozdělení půdních částic	14
Tabulka 3 - Dělení půd podle reakce	21
Tabulka 4 - Přehled variant	34
Tabulka 5 - hodnoty tahového odporu za roky 2018 a 2019	53
Tabulka 6 -Přehled výnosů za rok 2018.....	54
Tabulka 7 - Přehled výnosů za rok 2019.....	55

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sada Kopeckého válečků a příslušenství	3
Obrázek 2 - Rozměry penetračních kuželů podle ASAE.....	4
Obrázek 3 – Penetrometr.....	5
Obrázek 4 - Souprava tahového odporu.....	6
Obrázek 5 - Složení půdy	11
Obrázek 6 - Zrnitostní trojúhelníkový graf.....	15
Obrázek 7 - Optimální vlhkost půdy pro její zpracování.....	19
Obrázek 8 - Příklad erozi při pěstování kukuřice	24
Obrázek 9 - Výhody biouhelu.....	27
Obrázek 10 - Pokusné pole	34

12. Seznam grafů

Graf 1 - Přehled teplot za rok 2018 a 2019	35
Graf 2 - Množství srážek za roky 2018 a 2019	36
Graf 3 - Objemová hmotnost za roky 2018 a 2019.....	37
Graf 4 - Redukovaná objemová hmotnost za roky 2018 a 2019.....	38
Graf 5 - Relativní vlhkost půdy za roky 2018 a 2019.....	39
Graf 6 - Infiltrace za rok 2019	40
Graf 7 - Penetrační odpory v 1. variantě.....	41
Graf 8 - Penetrační odpory v 2. variantě.....	42
Graf 9 - Penetrační odpory v 3. variantě.....	43
Graf 10 - Penetrační odpory v 4. variantě.....	43
Graf 11 - Penetrační odpory v 5. variantě.....	44
Graf 12 - Penetrační odpory v 6. variantě.....	45

Graf 13 - Penetrační odpor v 8 cm.....	46
Graf 14 - Penetrační odpor v 16 cm.....	47
Graf 15 - Penetrační odpor v 24 cm.....	47
Graf 16 - Penetrační odpor v 32 cm.....	48
Graf 17 - Penetrační odpor v 40 cm.....	48
Graf 18 - Tahový odpor za roky 2018 a 2019.....	50

13. Seznam rovnic

Rovnice 1 - Hydraulické vodivosti.....	7
Rovnice 2 – Měrné hmotnosti.....	15
Rovnice 3 – Neredukované hmotnosti.....	16
Rovnice 4 – Redukované hmotnosti.....	17
Rovnice 5 – Pórovitosti.....	18